

УДК 639.2

А.А. Недоступ

Калининградский государственный технический университет,
236000, г. Калининград, Советский проспект, 1

О ПРИМЕНЕНИИ ТЕОРИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РЫБОЛОВСТВА

Приводятся масштабы динамического подобия процессов рыболовства.

Ключевые слова: *рыболовство, динамическое подобие.*

A.A. Nedostup

APPLICATIONS OF THE THEORY OF DYNAMICAL SIMILARITY PHYSICAL PROCESSES IN FISHERIES

The article provides a dynamic scale is similar to the fishery.

Key words: *fishing, dynamical similarity.*

Основной задачей гидромеханики орудий рыболовства является, как известно [1-4], определение силового воздействия между жидкой средой (водой) и движущимся в этой среде орудием рыболовства или его элементом. В большинстве случаев эту задачу приходится решать опытным путем, так как теория в гидродинамике еще не настолько развита, чтобы давать уверенные и достаточно точные для технических целей ответы на многочисленные вопросы проектирования и расчета орудий и процессов рыболовства. Теория может лишь установить общие законы движения и сопротивления среды и решить задачу о силовом воздействии среды и движущегося орудия рыболовства в некоторых простых случаях [5,6]. Так, например, возможно теоретически рассчитать в ряде случаев коэффициенты сопротивления, подъемной и боковой сил траловых досок.

Решать задачи, возникающие в сложных инженерных системах, которыми являются орудия рыболовства, чисто аналитическим путем часто бывает необычайно трудно и даже невозможно из-за большого количества зависимостей и сложностей нелинейных характеристик некоторых зависимостей. Иногда мы не имеем вообще математического описания задачи, так как исследуемое явление, протекающее с орудием рыболовства, настолько сложно, что для него пока еще нет удовлетворительной схемы и нет еще уравнений протекания процессов. Аналитическое решение, или решение дифференциальных уравнений гидродинамики, охватывает ограниченный круг задач. В частности, не всегда можно получить удовлетворительный результат и с помощью численных методов. Наконец, аналитическое решение все равно нуждается в проверке экспериментом с натурным орудием рыболовства или с его моделью. Последнее проще, дешевле, удобнее при исследованиях влияния вариаций различных параметров элементов системы, схемы их соединения и других факторов, влияющих на протекание гидродинамических, грунтодинамических и трибологических процессов.

В процессе проектирования орудий рыболовства нередко возникает необходимость не только математического, но и физического моделирования. В таком случае необходимо, чтобы процессы, протекающие с моделями орудий рыболовства, соответствовали натурным. Это означает, что различные характеристики движения потоков жидкости (для пассивных орудий рыболовства) или орудий рыболовства (для активных орудий рыболовства), которые имеют место в модели и в реальной системе, должны описываться одинаковыми закономерностями, хотя их численные значения могут существенно различаться. В натурной модели они меньше (как правило) или больше (встречается реже), чем в действи-

тельности. Для этого необходимо иметь критерии, которые позволяли ли бы «масштабировать» реальную систему. Эти критерии устанавливаются в теории подобия.

Гидродинамическое подобие – это подобие потоков несжимаемой жидкости, включающее в себя подобие геометрическое, кинематическое и динамическое [7].

В потоках жидкостей обычно действуют разные силы – силы давления, силы вязкого трения, силы тяжести, инерционные силы. Соблюдение пропорциональности всех сил, действующих в потоке, означает полное гидродинамическое подобие. На практике полное гидродинамическое подобие достигается редко, поэтому обычно приходится ограничиваться частичным (неполным) гидродинамическим подобием, при котором имеется пропорциональность лишь основных сил.

Орудия рыболовства имеют формы, значительно более сложные и изменяемые в процессе эксплуатации, чем те, которые доступны для теоретического изучения: ваера, траловые доски, гидродинамические щитки, кухтыли, бобинцы, гидродинамические катушки, поплавки и др. В основном орудия рыболовства представляют собой сложные инженерные сооружения, состоящие из набора элементов и сети. Причем сетная конструкция орудий рыболовства имеет несимметричные формы. Все эти обстоятельства настолько усложняют силовое воздействие орудия рыболовства с водой, что ограничиться средствами теоретического анализа при проектировании и расчете не представляется возможным. Поэтому основное значение приобретает здесь эксперимент. Однако для того, чтобы эксперимент успешно решал поставленную задачу, его постановка и обработка опытных данных должны базироваться на знании общих законов сопротивления среды, выяснение которых является делом теории.

Причина зависимости эксперимента от теории состоит в том, что эксперимент в гидромеханике выполняется обычно не с натурным объектом и не в натуральных условиях, а на модели этого объекта, в условиях, не совпадающих с натурными. Эксперимент при этом должен не просто воспроизводить изучаемое явление, а моделировать это явление так, чтобы затем можно было от данных эксперимента с моделью перейти к натуре.

Натурные объекты, с которыми имеет дело гидромеханика орудий рыболовства: тралы, невода, яруса, сети, промысловые механизмы и др., – слишком сложны, велики по размерам и дорогостоящи для того, чтобы их можно было всякий раз испытывать только в натуральных условиях. Кроме того, необходимость в испытании различных вариантов каждого из перечисленных выше натуральных объектов рыболовства возникает тогда, когда самого объекта еще не существует, а именно в стадии его проектирования и расчета. Эти обстоятельства и привели к широкому использованию в гидромеханике моделей натуральных орудий рыболовства и к испытанию их в лабораторных условиях [3], часто весьма далеких от натуральных. Эксперименты проводятся на специально создаваемых модельных установках, моделирующих определенным образом исследуемые устройства и протекающие в них физические процессы. При физическом моделировании исследуемая модель обычно выполняется в меньшем масштабе, чем оригинал (натура), и воспроизводит изучаемое явление с сохранением его физической природы.

Большое практическое значение приобрела теория физического моделирования, т.е. раздел гидродинамики, разрабатывающий способы определения гидродинамических коэффициентов для натуральных орудий рыболовства путем испытания моделей. Модель всегда должна быть геометрически подобна натурному орудию рыболовства, но так как она обычно имеет иные размеры, чем натурные орудия рыболовства, и может испытываться при иных скоростях и в другой среде, скажем, в воздухе [1-4], то силовое взаимодействие со средой также будет иным, нежели у натурального объекта. Поэтому возникает стремление охарактеризовать силовое взаимодействие объекта и среды безразмерными комбинациями или величинами, которые не зависели бы от абсолютных размеров объекта, скорости его движения, или скорости потока жидкости, плотности среды, вязкости жидкости и других размерных величин. Такие безразмерные величины в гидродинамике называются гидродинамическими коэффициентами.

Для проектирования и расчета натуральных орудий рыболовства весьма важно, чтобы гидродинамические коэффициенты, определенные опытным путем, были такими же, как у натуральных орудий рыболовства; только при этом условии можно применять гидродинамические коэффициенты, полученные на модели, к расчету натурального орудия рыболовства, и следовательно, только таким условием определяется ценность и точность эксперимента. Однако для того, чтобы гидродинамические коэффициенты были одинаковы, недостаточно одного только геометрического подобия модели и натуре. Необходимо соблюдение ряда дополнительных условий, которые являются условиями подобия явлений, возникающих при движении (обтекании) натуральных орудий рыболовства. Выяснение этих условий, которым необходимо руководствоваться для правильной постановки эксперимента, составляет предмет специального раздела гидродинамики – теории размерности и подобия.

Физическое моделирование – ответственная научная задача, имеющая общее принципиальное и познавательное значение, но его нужно рассматривать только как исходную базу для главной задачи. Последняя состоит в фактическом определении законов природы, в отыскании общих свойств и характеристик различных классов явлений, в разработке экспериментальных и теоретических методов исследования и разрешения различных проблем, наконец, в получении систематических материалов, приемов, правил и рекомендаций для решения конкретных практических задач [7].

В настоящей статье впервые приводятся правила динамического подобия орудий процессов рыболовства: гидродинамических, грунтодинамических и трибологических. На основании линейного масштаба получены масштабы всех характеристик. Обоснован масштабный эффект при проведении экспериментов с орудиями рыболовства.

Общий вид критерия подобия динамических процессов, протекающих с орудиями рыболовства, представлен в виде [8]

$$\frac{C_R C_l}{C_t^2 C_m C_w} = 1,$$

где C_R – силовой масштаб; C_l – масштаб геометрических характеристик; C_t – масштаб времени; C_m – масштаб массы; C_w – масштаб ускорения.

В таблице приведены основные масштабы физических характеристик гидродинамических, грунтодинамических и трибологических процессов, протекающих с орудиями рыболовства при динамическом подобии:

Масштабы физических характеристик		Преобразование через масштаб C_l
Физические характеристики	Обозначение	
1	2	3
Геометрический параметр (длина, высота, ширина и др.)	C_l	C_l
Геометрический параметр (площадь)	C_A	C_l^2
Геометрический параметр (объем)	C_V	C_l^3
Геометрический параметр (геометрический момент инерции)	C_I	C_l^4
Масса	C_m	C_l^3
Время	C_t	$C_l^{5/4}$
Скорость	C_v	$C_l^{-1/4}$
Сила	C_R	$C_l^{3/2}$
Ускорение	C_w	$C_l^{-3/2}$
Объемный вес	C_γ	$C_l^{-3/2}$
Момент (вращательный)	$C_{Mб}$	$C_l^{5/2}$
Плотность	C_ρ	1

Окончание таблицы

1	2	3
Динамическая вязкость воды	C_μ	$C_l^{3/4}$
Кинематическая вязкость воды	C_ν	$C_l^{3/4}$
Изгибная жесткость	C_{EI}	$C_l^{7/2}$
Упругость материала	C_E	$C_l^{-1/2}$
Давление	C_p	$C_l^{-1/2}$
Частота оборотов	$C_{\text{об}}$	$C_l^{-5/4}$
Частота колебаний	C_f	$C_l^{-5/4}$
Касательное напряжение	C_σ	$C_l^{-1/2}$
Потенциальная энергия	C_U	$C_l^{5/2}$
Кинематическая энергия	C_{Tn}	$C_l^{5/2}$
Поверхностное натяжение	$C_{\sigma n}$	$C_l^{1/2}$
Сдвиг грунта	$C_{\tau p}$	$C_l^{-1/2}$
Связность грунта	$C_{C\omega}$	$C_l^{-1/2}$
Нормальная нагрузка	$C_{\sigma p}$	$C_l^{-1/2}$
Мощность	C_N	$C_l^{5/4}$
Твердость	C_{HB}	$C_l^{-1/2}$
Угол	$C_\alpha = C_{\phi_{\text{вн}}}$	1
Сплошность	C_{Fo}	1
Коэффициент сопротивления (распорной силы, боковой силы)	C_k	1
Коэффициент трения	$C_{\mu d}$	1
Относительное удлинение	C_ε	1

На основании масштабов подобия динамических процессов моделируются гидродинамические, грунтодинамические и трибологические процессы, протекающие с орудиями рыболовства.

Статья подготовлена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 11-08-00096-а.

Список литературы

1. Баранов Ф.И. Теория и расчет орудий рыболовства. – М.: Пищепромиздат, 1948. – 436 с.
2. Баранов Ф.И. Моделирование рыболовных орудий // Сб. тр. Мосрыбвтуза. – 1957. – Вып. VIII. – С. 127-132.
3. Фридман А.Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства. – М.: Легк. и пищ. пром-сть, 1981. – 327 с.
4. Розенштейн М.М., Недоступ А.А. Механика орудий рыболовства. – М.: Моркнига, 2011. – 528 с.
5. Фабрикант Н.Я. Аэродинамика. – М.: Наука, 1964. – 814 с.
6. Федявский К.К., Войткунский Я.И., Фадеев Ю.И. Гидромеханика. – М.: Судостроение, 1968. – 568 с.
7. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1977. – 440 с.
8. Недоступ А.А. Физическое моделирование гидродинамических процессов движения орудий рыболовства // Вест. Томского государственного университета. Математика и механика. – Томск. – 2012. – № 3 (19). – С. 55-68.

Сведения об авторе: Недоступ Александр Алексеевич, кандидат технических наук, проректор по научной работе, зав. кафедрой промышленного рыболовства, e-mail: nedostup@klgtu.ru.