

*Г. К. БРОНШПАК, канд. экон. наук, А.Н. ВАЩЕНКО, канд. экон. наук
С. И. ДОЦЕНКО, канд. техн. наук, Е. Л. ПЕРЧИК, канд. техн. наук*

ПАРАДИГМА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ИГОРЯ ГРОМЫКО: ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАКУРС

Введение

В монографии [1] И. А. Громько представил разработанную им парадигму защиты информации. Ключевую роль в формулировке парадигмы играют понятия режимной адекватности и коммуникабельности носителей информации, п. 1. При этом режимная компонента, будучи объективно необходимой, является эвристической, подразумевая как степень ограничения несанкционированного доступа, зависящую от важности передаваемых сообщений, так и благоприятствование законному получателю информации. Напротив, интуитивно понятная «коммуникабельность» гораздо глубже, для ее изучения потребовалось проведение информационно-аналитического исследования (которому посвящена большая часть представленных ниже материалов).

Цель статьи – получение показателя коммуникабельности последовательно сопрягающихся носителей информации. В процессе исследования вырисовались очертания новой теории информации, для которой, по нашему мнению, подходит название – «конструктивная». Это теория, базирующаяся на использовании моделей и методов механики сплошной среды в контексте детерминистской методологии. Действительно, почему бы в качестве исходного базиса не представить распространение речевого сигнала в звукоизолированной (режимность) трубе (отсюда в названии – «гидродинамика», акустика – ее раздел)? И кстати, говорят ведь об «утечках» информации. О том, что звуковые волны способны претворяться в электрический ток, а также другие субстанции (и обратно), мы хорошо знаем.

1. Парадигма и используемые понятия

И. А. Громько сформулировал следующие положения. «Информация считается защищенной, если при ее перемещении соблюдается режимная адекватность коммуникабельных носителей информации» [1, с. 95]. В этой связи автор привел пояснения. «Носитель информации – это материальный объект, содержащий информацию, которая подлежит защите от угроз: утечки, возможности блокировки или нарушения целостности» [1, с. 23]. «Режимная адекватность носителей информации – это соответствие режимов доступа носителей информации (источника и получателя) при их взаимодействии» [1, с. 96]. Последовательно развивая данную трактовку, автор охарактеризовал понятие коммуникабельности, роль которой является определяющей: «Коммуникация есть опосредованное и целесообразное взаимодействие двух носителей информации в пространстве и во времени» [1, с. 65]. «Коммуникабельность носителей информации – это способность носителей информации участвовать в информационных процессах» [1, с. 75]. «Свойство участвующих в информационном процессе носителей информации, позволяющее осуществлять их взаимодействие без нарушения целостности, конфиденциальности и санкционированного доступа к информации, называется коммуникабельностью» [1, с. 24]. Отмечается также, что: «Парадигмальная формулировка трактует термин «сигнал» как наличие или синхронное отсутствие изменений параметров носителей информации в соответствии с состоянием объектов (предметов, событий, явлений и пр.)» [1, с. 20].

На основании доводов в отношении Парадигмы, И. А. Громько предложил ее преобразование в проект соответствующего Закона Украины: «Информация считается защищенной, если при осуществлении информационной деятельности в цепях

информационных взаимодействий носителей информации соблюдается режимная адекватность и коммуникабельность» [1, с. 106]. Заметим, несколько иначе трактуют понятие коммуникабельности

Л. Ф. Куликовский и В. В. Мотов, ставящие во главу угла фактор системной самоорганизации. В информационном процессе они выделяют три основные составляющие: восприятие некоторого физического явления как сигнала и преобразование его формы; изменение модели под воздействием принятого сигнала; пространственно-временная передача сигналов для объединения подсистем самоорганизующейся системы. При этом в информационной системе выделены подсистемы: восприятие информации; интерпретация и коммуникация [2, с. 5]. «Подсистема коммуникации осуществляет передачу обработанной информации во внешний мир, выступающий в этом случае в роли приемника информации» [2, с. 6].

2. Аспекты шенноновской теории

И. А. Громыко логично не вводит в представленные им соображения собственно понятие информации, поскольку оно трактуется в литературе неоднозначно (см. также п. 3). Не выраженный явно смысл «информации» в контексте исследования [1] компенсируют такие понятия как: информационный процесс; носитель информации; сигнал. Однако в свете последующего изложения мы все же обратимся к затронутой теме, а также аспектам, которые с ней взаимосвязаны. Как отметил Н. Винер: «Одной из простейших, наиболее элементарных форм информации является запись выбора между двумя равновероятными простыми альтернативами, например между гербом и решкой при бросании монеты» [3, с. 116]. Итак, налицо сугубо вероятностная трактовка. А. Файнштейн поясняет: «Существенно статистическая природа большинства систем связи была осознана еще до работ Шеннона. В частности, ее отчетливо подчеркнул Винер, который первым использовал ее при решении задач прогноза и фильтрации. Однако можно с полным основанием утверждать, что понятиями канала и количества информации, так же как и формулировкой основных теорем кодирования, мы обязаны исключительно Шеннону» [4, с. 15]. Однако вопрос: распространяется ли утверждение о «существенно статистической природе» на системы передачи информации (а не только лишь – «системы связи»)? Можно предположить что, скорее всего, Файнштейн попросту отождествил данные системы.

В свою очередь, уточнение понятия упомянутого «канала» приводит К. Шеннон. «Канал есть просто среда, используемая для передачи сигнала от передающего конца к приемному. Это может быть пара проводов, коаксиальный кабель, полоса радиочастот и т. д. Во время передачи сигнал может искажаться и на него может налагаться помеха. Искажения и влияния помехи могут быть разделены на том основании, что искажения есть результат определенной операции, производимой над сигналом, тогда как помеха производит статистические изменения сигнала, которые нельзя предвидеть. Искажения, в принципе, можно скорректировать обратной операцией; изменения же сигнала, обусловленные помехой, не всегда могут быть устранены, так как сигнал не всегда подвергается при передаче одинаковым изменениям» [5, с. 83]. Итак, Шеннон полагает, что статистическая база может оказаться недостаточно представительной, что делать в таком случае? И еще вопрос, который может показаться странным (если не прочесть введение): нельзя ли представить упоминавшийся канал в виде трубы? В ней распространяются акустические волны; их параметры олицетворяют собой информацию, которая подлежит передаче (мы вернемся к этой теме ниже, п. 6).

Приведем соображения одного из основоположников шенноновской теории Р. В. Хартли: «Говоря о пропускной способности системы передачи информации, мы молчаливо предполагаем какую-то количественную меру информации. В обычном понимании термин «информация» слишком эластичен; необходимо, прежде всего, установить для него

специфический смысл ...» [6, с. 6]. «В начале статьи я предложил установить количественную меру для сравнения пропускной способности различных систем передачи информации. Было показано, что этой мерой является произведение частотного диапазона, в границах которого стационарные переменные токи передаются с достаточно однородной эффективностью, на время использования системы» [6, с. 34]. Комментарий П. Шамбадала: «... если проблема содержит P равновероятных ответов, то знание точного ответа ... дает нам количество информации, изменяющееся в том же направлении, что и P . Иными словами, количество информации должно быть возрастающей функцией P . Что касается формы этой функции, то она была выбрана по предложению Хартли (в 1928 г.) в виде

$$H = K \log P, \quad (1)$$

где K – константа, а \log – логарифм с некоторым основанием» [7, с. 185 – 186].

В. Галлер дополняет: «... информация может передаваться по данной цепи согласно уравнению

$$H \leq 2BT \log(1 + s/n), \quad (2)$$

где H – количество информации; B – ширина полосы при передаче; T – продолжительность передачи и s/n – отношение сигнал/помеха» [8, с. 58]. Заметим, что формула (2) несколько развивает высказывание Хартли (см. выше). Присутствие в (1), (2) \log сообщает информации такое свойство как аддитивность, аналогично энтропии в термодинамике, которая в однородном теле пропорциональна массе. В отношении компонентов соотношения (2) Г. Бодэ и К. Шеннон высказались так: «Теория Винера – Колмогорова базируется на трех основных предположениях, которые ограничивают область применения этой теории» [9, с. 114],

а именно: «Временные последовательности, представляющие сигнал $s(t)$ и шум $n(t)$, стационарны. Это значит, что статистические свойства сигнала и шума не изменяются со временем. Теория не может быть применена, например, к долговременным экономическим явлениям, так как статистика, скажем, рыночных цен не та же, что в 1850 г.» [9, с. 115]. Другие позиции касаются критерия ошибки, а также операций предсказания и фильтрации.

В этой связи следует принять во внимание, что стохастические интерпретации представляют собой вынужденную меру, о чем свидетельствуют соображения Р. Беллмана: «Пусть S – источник последовательности дискретных во времени сигналов, искаженных определенными паразитными воздействиями, которые мы будем называть шумами. Обычно предполагается, что эти посторонние сигналы являются стохастическими. В первую очередь это объясняется тем, что наши знания о шумах слишком скудны для того, чтобы мы могли учитывать их детерминированным образом. Смесь сигналов этих двух разных типов подается на вход вездесущего черного ящика, который мы будем называть «каналом связи». Мы наблюдаем сигнал на выходе этого черного ящика» [10, с. 303]. Беллман также привел замечательный результат о стратегии игрока, исключая банкротство (адаптировав его затем к понятию качества канала связи) [10, п. 17]. Автор использует предпосылку о том, что игрок получает информацию о некоем состязании по каналу с шумами и вероятность правильной передачи составляет p . На самом деле, конечно, такой показатель он знать не может. В качестве p естественно представить результат прошлой статистики по типу процента выигранных пари. Заметим, кстати, что И. А. Громыко представил ту же задачу в своей интерпретации. Речь идет о передаче большого количества ординарных сообщений по каналу связи [1, п. 5.3.1].

Как отметил Р. Л. Стратонович: «Важным и далеко не тривиальным фактом является то, что средняя ошибка декодирования может быть сделана подходящим выбором кода сколь

угодно малой при увеличении числа символов m без уменьшения уровня помех в канале и без уменьшения количества передаваемой информации, рассчитанного на один символ. Этот результат был получен Шенноном в 1948 г. и (формулируем в терминах пропускной способности) обычно носит название [второй асимптотической] теоремы Шеннона» [11, с. 234]. Вопрос: насколько конструктивна данная теорема существования? Суждения А. Н. Ефимова достаточно оригинальны и содержат критику: «Введение К. Шенноном количественной

меры информации и установление фундаментальных ограничений на скорость ее передачи по каналам связи явилось первым этапом в изучении информационных потоков. Очень скоро выяснилось, что в теории Шеннона отсутствуют два важнейших компонента – цель, с которой получают информацию, и время, в течение которого она возникает, передается и используется. Шеннон прекрасно понимал ограниченность теории и предупреждал об этом. Согласно Шеннону, информацию несет любой результат опыта со случайным исходом, любое изменение значения случайного процесса» [12, с. 3-4].

3. Альтернативные понятия информации

Большой интерес представляют соображения Р. Л. Стратоновича: «Термин «информация», указанный в заглавии книги, понимается здесь не в том широком смысле, в каком его понимают работники печати, радиовещания и народного хозяйства, а в том узком научном смысле, какой ему придал К. Шеннон. Другими словами, предметом настоящей книги является специальная математическая дисциплина – шенноновская теория информации, которая в состоянии решать не всеобъемлющие, а определенные, сравнительно специальные задачи, относящиеся к ее компетенции» [11, с. 5]. «С начала (с 1948 г. по 1959 г.) в шенноновской теории информации фигурировало лишь одно «термодинамическое» понятие – энтропия. В ней, казалось, нет места для энергии и других аналогичных термодинамических потенциалов. В этом отношении теории выглядела однобокой по сравнению со статистической термодинамикой. Но это было временным явлением. После осознания того, что в прикладной теории информации, понимаемой как теория передачи сигналов, аналогом энергии является функция штрафов, аналогом средней энергии является риск, положение изменилось. Стало очевидным сходство в числе основных понятий и в соотношениях между ними» [11, с. 6]. «Теория информации является математической теорией, использующей понятия и методы теории вероятностей. При ее изложении нет особой надобности придерживаться специальной «информационной» терминологии, применяемой обычно в приложениях. Понятие «сообщения» без ущерба для теории можно заменить на понятие «случайной величины», понятие «последовательности сообщений» – на «случайный процесс» и т. п.» [11, с. 10].

В свете сказанного приведем следующие комментарии:

1. Р. Л. Стратонович всецело придерживается позиции, утверждающей правомерность распространения положений термодинамики на теорию информации (имеются и альтернативные воззрения, см. ниже).

2. Одновременно в качестве математической основы шенноновской теории выступает теория вероятностей, привнесшая также и сформировавшуюся в ней терминологию.

3. Понятие информации в теории Шеннона гораздо уже по сравнению с тем, которое подразумевается на эвристическом уровне (и не только, см. ниже), тогда как И. А. Громько предлагает проект Общего закона защиты информации (п. 1).

4. Этот закон, в силу своего статуса, должен охватывать едва ли не исчерпывающий спектр информационных процессов, включая и таких фигурантов как «работники народного хозяйства», упомянутые Р. Л. Стратоновичем, а значит сфера «компетенции» количественной теории Шеннона здесь не актуальна.

5. Можно сделать вывод о необходимости создания (а может быть, синтеза по частям из смежных областей знаний) конструктивной теории, которая была бы адекватна Закону защиты информации, в формате, представленном И. А. Громыко.

И. П. Базаров пояснил понятие энтропии в термодинамике и, наряду с этим, критично отнесся к его распространению на информационные процессы. Заметим, что в шенноновской теории роль энтропии можно назвать ключевой. Итак: «Однозначная функция состояния – энтропия, существование которой у равновесной системы устанавливает второе начало термодинамики, не является наглядной величиной: ее можно вычислить, но нельзя непосредственно измерить, подобно температуре или объему – энтропиометров не существует. Физический смысл энтропии можно выяснить как при анализе равновесных процессов, так и при изучении неравновесных процессов, при этом более глубокий термодинамический смысл энтропии раскрывается при анализе неравновесных процессов. Смысл этот состоит в том, что изменение энтропии является мерой необратимости процессов в замкнутой системе и характеризует направление естественных процессов в такой системе» [13, с. 71]. «Более глубокий смысл энтропии раскрывается в статистической физике, согласно которой энтропия S системы в данном состоянии характеризует вероятность этого состояния:

$$S = k \ln W, \quad (3)$$

где k – постоянная Больцмана; W – термодинамическая вероятность состояния, определяемая числом микросостояний, реализующих данное микросостояние. Соотношение (3) выражает принцип Больцмана. Односторонний характер изменения энтропии в замкнутой системе определяется переходом системы из менее вероятного состояния в более вероятное» [13, с. 72]. «Как было установлено К. Шенноном, информация I о системе, получаемая при наблюдении за системой, связана с происходящим при этом изменением вероятности состояния системы таким же соотношением (с точностью до знака), как и (3). Это формальное сходство выражений для термодинамической энтропии S и уменьшения информации – I («информационной энтропии» по Шеннону) привело многих авторов к необоснованному отождествлению термодинамической энтропии с «информационной энтропией», хотя последняя не является термодинамическим параметром. Использование одного и того же термина (энтропия) для различных величин лишь вводит в заблуждение» [13, с. 73].

А. В. Шилейко и его соавторы признают возможность использования «энтропии», однако возражают против ее отождествления с информацией. Необычен смысл, который они придают понятию информации. Приведем соответствующие выдержки: «В основу информационной теории систем положено то исходное соображение, что для исчерпывающего описания процессов, происходящих как в искусственных, так и в естественных системах, кроме таких традиционных физических величин, как энергия и энтропия, а также возможно, ряда производных величин, в качестве которых могут выступать, например, термодинамические потенциалы, необходима еще одна величина, а именно – информация. Заметим сразу, что подобная позиция означает категорический отход от укоренившейся в последние годы тенденции отождествлять понятия энтропии и информации» [14, с. 3]. «Энтропия, как ее принято понимать в термодинамике, есть усредненная характеристика, описывающая равновесное состояние системы. Лишь с большим трудом удастся распространить понятие энтропии на случай переходных процессов. И совершенно бессмысленно использовать это понятие при описании одиночных явлений, связанных с отдельными элементами» [14, с. 4]. В частности, авторы отмечают, что максимальная мощность на валу паровой машины может быть получена, когда положение золотника в любой момент времени строго согласуется с положениями шатуна и кривошипа. «Сказанное непосредственно наводит на мысль о необходимости введения самостоятельной физической величины, оценивающей степень соответствия между положениями золотника и

кривошипа. Есть все основания назвать эту величину информацией, поскольку она оценивает именно степень информированности одной части системы (золотника) о состоянии другой части системы (кривошипа)» [14, с. 5]. «Одна из главных задач, решаемых при формулировании основ информационной теории систем, состоит в том, чтобы показать, что информация представляет собой обычную физическую величину, ничем не отличающуюся от других физических величин, будь то энергия или, например, сила электрического тока» [14, с. 6]. «Вообще одна из задач, решаемая в рамках информационной теории систем, состоит в том, чтобы очистить само понятие информации от того налета субъективизма, которое оно вынесло из ранее развивавшихся теорий, в том числе и шенноновской» [14, с. 7].

4. Теория информации Мазура

Отметив плодотворность шенноновской теории, М. Мазур обратил внимание на ее односторонний характер. В самом деле, это не теория информации вообще, а ее количественная компонента. Из предисловия редактора: «Автор настоящей книги применяет оригинальный метод рассуждений. Даже не пытаясь дать определение информации и, тем более, не обращаясь к математической теории информации, он начинает с анализа обобщенной системы управления, ее составных элементов и их преобразований. ... Таким образом, все рассуждения в этой книге не основываются на теории информации, а приводят к ней» [15, с. 7]. Представляет интерес соображение М. Мазура: «... понятие «количество информации» [по Хартли, Шеннону, п. 2] определено способом, не оставляющим места для размышлений над тем, «что такое количество информации», так как оно получено путем разумного терминологического соглашения, основанного на математической формуле. С научной точки зрения подход является безупречным. Однако с самим термином «количество информации» связана некоторая неясность, ибо в неявном виде предполагается, что если известно, что такое количество информации, известно также, что такое информация» [15, с. 14]. И далее интересная выдержка: «Возникает недоумение, почему, несмотря на существование теории информации, в обычных, чаще всего встречающихся на практике случаях, из нее нельзя узнать, что такое информация, и даже то, каково в том или ином случае количество информации (что, в конце концов, является главным понятием в этой теории). На заданные вопросы можно ответить, что теория информации создана не для этих потребностей. Однако такой аргумент означает признание того факта, что созданная теория до сих пор дает меньше, чем обещает ее название» [15, с. 15-16]. По результатам проведенного исследования, Мазур сформулировал логически взаимосвязанные определения (аксиоматического характера).

В данном случае наиболее актуальны следующие из них:

Информация – преобразование одного сообщения информационной ассоциации в другое сообщение той же ассоциации [15, с. 70].

Информационная ассоциация – ассоциация сообщений из поперечного множества сообщений [15, с. 70].

Поперечное множество сообщений – множество сообщений в произвольном месте цепи управления [15, с. 34].

Сообщение – физическое состояние, определенным образом отличающееся от других физических состояний в цепи управления [15, с. 33].

Цепь управления – система, через которую одна система воздействует на другую [15, с. 27].

Однако, интересный момент. Информация – это «преобразование». Преобразование, конечно, должно быть корректным. И здесь органично возникают сопрягающиеся носители, а следом – реализация их коммуникабельности. Можно сделать вывод о заметной коррелированности положений теории Мазура, включая аксиоматическую компоненту, и парадигмы Громыко. Естественно, в условиях конструктивного воплощения данной парадигмы. Поперечное множество сообщений логично представить в категориях

некоторого алфавита. Совокупностям букв этого алфавита соответствуют физические состояния в точках цепи управления. Их можно интерпретировать также и как сигналы. Тогда цепь управления образуют последовательности носителей, которые должны быть коммуникабельными. И, наконец, обратим внимание – в теории Мазура безальтернативен детерминизм.

5. Аналогии волновых процессов

По нашему мнению, очень плодотворны (и будут использоваться, пп. 6 – 9) концептуального характера соображения, которые отражают следующие выдержки. А. В. Кулаков

и А. А. Румянцев отмечают: «В физике нелинейных процессов, как и в науке вообще, большую познавательную роль имеют аналогии. Так, например, существует определенная аналогия между колебаниями механического маятника и электрическими колебаниями в генераторе Ван-дер-Поля, между осцилляторами, с одной стороны, и состоянием квантованного электромагнитного поля – с другой. Аналогом электрической линии передач, фоновой системы в твердом теле и т. п. является механическая линия передачи, образованная системой маятников, соединенных между собой пружинами» [16, с. 6 – 7]. В. В. Дильман и А. Д. Полянин дополняют: «При использовании аналогии знание, полученное из рассмотрения некоторого объекта (модели), переносится на другой, менее изученный (менее доступный для исследования, менее наглядный) объект. По отношению к конкретным объектам выводы, получаемые по аналогии, носят, как правило, лишь правдоподобный (вероятностный) характер; они являются одним из основных источников научных гипотез, эмпирических законов, индуктивных рассуждений и играют важную роль в научных открытиях. Многие точные и эмпирические закономерности, полученные путем экспериментальных и теоретических исследований, были найдены лишь благодаря установлению различного рода аналогий относительно рассматриваемых объектов. Например, аналогия с волнами на поверхности воды помогла выяснению законов распространения звука и света. Определенное сходство между строением атомного ядра и солнечной системы привело Н. Бора к созданию планетарной модели атомного ядра» [17, с. 36].

Ж. Можен, сопоставив расчетно-теоретический аппарат традиционной теории связи (по проводам) и нашу гидродинамику («звуковая» труба), пришел к достаточно неординарному заключению: «Электродинамика и механика сплошных сред обычно рассматриваются как два различных раздела макроскопической физики. Однако они созданы практически в одно и то же время и имена одних и тех же ученых (Коши, Френель, Грин, Фарадей, Максвелл, Фойгт) часто связывают с ними обоими. И это вовсе не случайно. Помним ли мы, что большие усилия, впоследствии приведшие к разработке теории деформации, были сделаны в поисках удовлетворительного описания носителя распространения света – вездесущего эфира [18, с. 11]. И далее: «Понятие «движение» относительно в том смысле, что введение разных временных масштабов показывает: за один и тот же промежуток времени одни явления могут считаться практически неизменными, тогда как картина другого явления значительно меняется и, следовательно, оно принципиально динамичнее по сравнению с первым. Такова ситуация при сопоставлении явлений распространения света с акустическими процессами» [18, с. 11]. Мы вернемся к теме разных масштабов ниже (п. 10). Из предисловия А. С. Кравчука: «Предлагаемая читателю книга П. Жермена отражает тот факт, что в настоящее время механика сплошных сред оформилась в самостоятельную дисциплину, в которой изучаются фундаментальные вопросы, представляющие собой основу и теории упругости, и гидродинамики, и аэромеханики, и теории грунтов и многих других теорий, описывающих поведение конкретных сред» [19, с. 5]. Со своей стороны заметим, что модели механики сплошной среды открывают широкие возможности для конструктивной реализации аппарата теории дифференциальных и интегральных уравнений.

6. Распространение звука в волноводе

«Колебательное движение с малыми амплитудами в сжимаемой жидкости называется звуковыми волнами. В каждом месте жидкости в звуковой волне происходят попеременные сжатия и растяжения» [20, с. 350]. Л. М. Бреховских и В. В. Гончаров уточняют, что для акустических волн эффект сжимаемости представляет определяющий фактор. «По своей природе звуковые волны родственны продольным упругим волнам в твердых телах ... и обусловлены силами упругости, возникающими при деформациях элемента объема жидкости» [21, с. 247]. Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц рассмотрели распространение звуковой волны вдоль длинной узкой трубки. Здесь под узостью подразумевается трубка, ширина которой мала по сравнению с длиной волны. Сечение трубки может меняться вдоль ее длины, как по форме, так и по площади. Важно лишь, чтобы это изменение являлось достаточно медленным. Иначе говоря, площадь F сечения должна мало меняться на расстояниях порядка ширины трубки. В таком случае можно считать, что вдоль каждого поперечного сечения трубки все величины (скорость, плотность и т. п.) постоянны. Наряду с чем направление распространения волны считается везде совпадающим с направлением оси трубки [20, с. 413]. Уравнение распространения звука в трубке:

$$F^{-1} \partial_x (F \partial_x p) - c^{-2} \partial_t^2 p = 0, \quad c^2 = (\partial_\rho p)_F, \quad (4)$$

где p – переменная часть давления; ρ – плотность жидкости [20, с. 414].

Решение уравнения (4), когда $F = const$, состоит из двух, бегущих вдоль оси x в противоположные стороны волн [22, п. 4.1]. Причем, С. Л. Соболев рассматривает здесь совсем не движение жидкости, а малые колебания струны (яркий пример аналогии, п. 5). В общей постановке теорию задач Коши для многомерных уравнений гиперболического типа представил И. Г. Петровский [23, п. 2]. Уравнение (4) в этом смысле – частный случай. Однако,

поскольку мы коснулись «анalogии», заметим, что И. А. Громыко также ее использовал, причем в своеобразной интерпретации. Обратив внимание на хорошую приспособленность компьютера к решению задач Коши, он обнаружил аналогю с действиями по оценке коммуникабельности носителей, поступательно передвигаясь вдоль цепочки их расположения.

В противовес решению граничной задачи, когда желаемый результат, минуя череду носителей, задается, скажем, на выходе системы [1, с. 45-52].

Возвращаясь к теме настоящего раздела, отметим что: «Классическим акустическим волноводом является переговорная труба, соединяющая мостик с машинным отделением на старых судах» [21, с. 265]. Однако авторов данного издания интересуют волноводы гораздо более сложного вида, конкретно, океан с дном, которое моделируется в разной интерпретации. При этом возникают различного рода эффекты, в контексте настоящего изложения

являющиеся, на самом деле, вторичными. Поэтому целесообразно отказаться от каких-либо усложнений конфигурации рассматриваемых волноводов и принять в качестве базиса трубу кругового сечения с постоянной площадью F , в уравнении (4). Такой подход будет способствовать построению в аналитическом виде интегрального уравнения процесса распространения информации, а также выводу конструктивного критерия коммуникабельности сопряженных носителей информации (п. 11). С другой стороны, некоторые возмущения формы поперечного сечения трубы представляют интерес как сопротивления течению жидкости (см. п. 9). Иначе следует отнестись к свойствам жидкости, поскольку параметры волн в ней, будучи в отличие от звука неразличимыми, тем не менее, поддаются измерениям. Соответственно, они несут в себе информацию (хотя бы и косвенного характера). При этом известные решения для разных свойств жидкостей

позволяют прогнозировать препятствия на пути эффективной работы носителей информации. Таким образом, вновь возникает тема аналогий (п. 5).

В этой связи приведем соображение Е. Скучика; он даже исследование прозрачных моделей акустического содержания предлагает проводить в категориях теории электрических цепей: «При изучении колебаний сразу же обнаруживается, что старых классических методов недостаточно и что необходимы новые, более общие и в то же время менее сложные методы. Такие новые мощные методы анализа систем дифференциальных уравнений, появляющихся при изучении механических систем с сосредоточенными и распределенными параметрами, были заимствованы из теории электрических цепей» [24, с. 13]. Заметим, что не все специалисты разделяют это мнение.

7. Разнообразие свойств жидкостей

П. Жермен привел определение ньютоновской жидкости. «Так называют простые среды, о которых образно можно сказать, что «их память бесконечно коротка. ... Иными словами, тензор напряжений зависит фактически только от непосредственно близкого прошлого» [19, с. 125]. Заметим, такое свойство представляется достаточно «удобным» с точки зрения преобразований по Мазуру (п. 4). Дополнение К. Труделла существенно: «Жидкость может реагировать на всю предысторию ее деформации в целом, однако ее реакция не может быть различной в различных конфигурациях с одинаковой плотностью. Эти два внешне противоречивых свойства – способность помнить все прошлое и неспособность отличать одну конфигурацию от другой – уживаются в жидкости благодаря тому, что она реагирует на прошлое лишь постольку, поскольку оно отличается от постоянно меняющегося настоящего» [25, с. 199].

Отметим другие характеристики жидкостей, каждая из которых порождает свои возможности исследования информационных процессов с гидродинамических позиций: «Для полимерных материалов, если их рассматривать в молекулярном масштабе, различие между твердыми телами и жидкостями является очень простым. В случае жидкости отдельные длинные цепи молекул совершенно не связаны и за длительные промежутки времени обладают неограниченной подвижностью по отношению друг к другу. В то же время в твердых телах между смежными молекулами имеются дискретные химические связи, которые называются поперечными связями и которые препятствуют неограниченному течению. Однако в случае материала с очень слабыми поперечными связями различие между твердым телом и жидкостью может быть почти незаметным ...» [26, с. 29].

«Растягивающее усилие, удлиняющее резиновую полоску в диапазоне относительных удлинений 30 – 300 %, создает в материале напряжение, обусловленное главным образом разностью энтропий в растянутом и нерастянутом состояниях. При этом изменение внутренней энергии сравнительно невелико и обусловлено небольшим изменением объема при

растяжении. Напряжение возрастает с повышением температуры, если поддерживать длину полоски постоянной. Вычисленные приращения внутренней энергии для растяжения при постоянном объеме пренебрежимо малы» [27, с. 113]. «Человеку, хорошо знающему закономерности турбулентного течения в трубах и связанное с турбулентностью сильное увеличение сопротивления, весьма удивительно, что ничтожная добавка может существенно уменьшить сопротивление. Например, 20 миллионных долей полиокса – длинноцепочного полимера – могут снизить сопротивление на 50%» [28, с. 110].

8. Течение жидкости в трубах

Здесь возникает ряд интересных эффектов, которые могут быть интерпретированы под углом зрения информационных процессов. Так, Г. Биркгоф отмечает: «Когда $Re > 10^4$, наблюдаемое на опыте течение не обладает ни пространственной, ни временной симметрией и является турбулентным. ... Можно избежать появления турбулентности, добиваясь полной

обтекаемости входного отверстия, полируя стенки и обеспечивая на входе трубы ламинарное течение. При чрезвычайной тщательности можно было таким путем избежать появления турбулентности при значениях Re вплоть до 40 000. Но если не принимать специальных мер, то течение в трубках при $Re > 2000$ будет турбулентным» [29, с. 57]. Под ламинарностью течения подразумевается его упорядоченность, когда слои жидкости скользят друг по другу. Число Рейнольдса для трубы $Re = wd/\nu$, где w – средняя скорость потока, м/с;

d – внутренний диаметр, м; ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с.

Мнение Ландау и Лифшица вообще категорично: «Для течения в трубе кругового сечения полное теоретическое исследование устойчивости еще отсутствует, но имеющиеся результаты дают веские основания полагать, что это движение устойчиво по отношению к бесконечно малым возмущениям [обратим внимание] (как в абсолютном, так и конвективном смысле) при любых числах Рейнольдса» [20, с. 151]. Важную роль сыграло бы распространение данного утверждения на поток информации. И далее: «Для всех этих пуазейлевых течений существует также критическое число Re'_{kr} , определяющее границу устойчивости по отношению к возмущениям конечной [существенный момент] интенсивности. При $Re < Re'_{kr}$ в трубе вообще не может существовать незатухающего нестационарного движения. Если в каком-то участке возникает турбулентность, то при $Re < Re'_{kr}$ турбулентная область, сносаясь вниз по течению, в то же время сужается, пока не исчезнет совсем; напротив, при $Re > Re'_{kr}$ она будет с течением времени расширяться, захватывая все больший участок потока» [20, с. 151-152]. «Если возмущения течения непрерывно происходят у входа в трубу, то при $Re < Re'_{kr}$ они непременно затухнут на некотором расстоянии от входа, сколь бы сильны они ни были. Напротив, при $Re > Re'_{kr}$ движение станет турбулентным на всем протяжении трубы, причем для этого достаточны тем более слабые возмущения, чем больше Re . Для трубы кругового сечения незатухающая турбулентность наблюдалась уже при $Re \approx 1800$ Ввиду «жесткости» срыва ламинарного течения в трубе он сопровождается скачкообразным изменением силы сопротивления» [20, с. 152].

Представляют интерес данные и соображения С. М. Тарга: «В круглой трубе при $Re < 1100$ возмущения во входном сечении, каковы бы они ни были, по мере удаления от входа будут затухать, и движение жидкости станет ламинарным. Однако отсюда не следует обратный вывод о том, что при $Re > 1100$ течение в трубе будет всегда турбулентным; если принять соответствующие меры, а именно – дать жидкости предварительно хорошо отстояться, плавно закрутить выход из резервуара в трубу, предохранить саму трубу от возможных случайных сотрясений и т. п., то можно наблюдать ламинарный режим течения в трубе и при числах Re , равных нескольким десяткам тысяч. Вопрос о существовании верхнего критического числа Re^{kr} , т. е. такого, что при $Re > Re^{kr}$ течение при любых условиях будет заведомо турбулентным, остается открытым. Вероятнее всего, что такого числа нет, т. е., что при все более тщательном устранении возмущений можно получить ламинарное течение при любом Re » [30, с. 26]. Конечно, течение жидкости мы ассоциируем с понятием: распространение (передача) информации. При этом передача информации от одного носителя к другому трактуется как частный случай преобразования Мазура. Возможна также привязка к понятию «ламинарность», подразумевающему упорядоченность информационного потока. В ситуации, когда жидкость является полимерной (п. 7), можно рассматривать вопрос о сохранении структурной связности «деформирующегося» потока информации.

Однако видится своего рода аналогия между сказанным выше в отношении ламинарного режима течения в «идеальной» трубе при большом числе Re и результатами, которые представил Шеннон. Здесь также все очень хорошо, если помеха незначительна.

Однако с некоторого момента система может резко выходить на критический режим функционирования, о чем свидетельствует следующая выдержка: «Мы будем называть систему, передающую без ошибок со скоростью C , идеальной системой. Такая система не может быть осуществлена ни при каком конечном процессе кодирования, но к ней можно насколько угодно приблизиться. По мере приближения к идеалу происходит следующее: 1) Скорость передачи двоичных чисел приближается к $C = W \log_2(1 + P/N)$. 2) Частота ошибок приближается к нулю. 3) Передаваемый сигнал по своим статистическим свойствам приближается к белому шуму. 4) Пороговый эффект становится очень острым. Если помеха превзойдет значение, для которого построена система, частота ошибок возрастает очень быстро.

5) Требуемые задержки в передатчике и приемнике неограниченно возрастают. Конечно, в широкополосной системе задержка в одну миллисекунду может рассматриваться как бесконечная» [5, с. 103]. Используются обозначения: C – пропускная способность канала связи; W – частота, Гц; P – средняя мощность сигнала; N – средняя мощность помехи.

9. Сопротивление движению жидкости

В данном контексте аналогия между жидкостью и потоком информации особенно прозрачна. Трение при отсутствии объемных сил, в условиях ламинарного течения, характеризует перепад статических давлений:

$$\Delta p = \zeta \rho w^2 L / 2d, \quad (5)$$

где ζ – коэффициент гидродинамического сопротивления; ρ – плотность среды, кг/м³; w – средняя скорость течения, м/с; L – протяженность рассматриваемого участка канала, м; [31, с. 89]. Гидродинамическое сопротивление для круглой трубы при отсутствии объемных сил в условиях турбулентности [31, с. 114]:

$$\zeta = \left[0,88 \ln(\text{Re} \sqrt{\zeta}) - 0,9 \right]^2 \quad (6)$$

(имеются также приближенные формулы для четырех интервалов изменения числа Re [31, с. 115]). Заметим, что выражение (6) известно как фундаментальный закон гидродинамического сопротивления. При этом роль соотношения (5) играет логарифмическая зависимость распределения скоростей.

Резкое сужение сечения

$$\zeta = 0,5(1 - \omega_M / \omega_B); \quad (7)$$

при $\text{Re} > 10^4$ коэффициент ζ зависит только от отношения ω_M / ω_B ; при $\text{Re} < 10^4$ коэффициент $\zeta = f(\text{Re})$. Резкое расширение сечения:

$$\zeta = 1,1 \left[1 - (\omega_M / \omega_B)^2 \right]; \quad (8)$$

при $\text{Re} > 5 \cdot 10^3$ коэффициент ζ зависит от ω_M / ω_B ; при $\text{Re} < 5 \cdot 10^3$ коэффициент $\zeta = f(\text{Re})$, причем с уменьшением Re коэффициент ζ возрастает. Вход в трубу с закругленными кромками заподлицо со стенкой [32, с. 36]. При отношениях r/d : 0,05; 0,1 и 0,2 коэффициент ζ принимает значения соответственно: 0,25; 0,12 и 0. Здесь r – радиус закругления перехода от трубы большого диаметра, из которой поступает жидкость. Однако, интересный момент: за счет оптимального сопряжения, сопротивление движению потока можно полностью преодолеть. Правдоподобной является возможность минимизации потерь информации путем устранения резких изменений пропускной способности каналов.

Заметим, что формулы (7), (8) хорошо апробированы, для определения зависимостей $f(\text{Re})$ имеются специальные рекомендации. Надо полагать, и формула Жуковского для скорости волны при гидравлическом ударе может оказаться полезной, имитируя резкую блокировку пропускной способности канала связи:

$$c = 1425 / \sqrt{1 + E_0 d / E \delta};$$

здесь E_0 – модуль объемной упругости воды; E – модуль упругости материала, из которого сделана труба; d – диаметр трубы; δ – толщина стенки трубы [33, с. 191].

10. Сингулярно-возмущенные задачи

Н. Н. Моисеев отмечает, что решение задачи, описываемой уравнением вида

$$d_t u = g(u, t, \varepsilon), \quad (9)$$

где $d_t = d/dt$, g – аналитическая функция малого параметра ε , в ряде случаев удается получать на основе аналогичной модели с $\varepsilon = 0$. Такое возмущение уравнения (9) называется регулярным. Как правило, решение задач для него не встречает принципиальных осложнений, причиной чего является сохранение порядка уравнения (9), когда $\varepsilon = 0$ [34, с. 292 – 293]. Однако в гидродинамике достаточно типичны ситуации, при которых обращение параметра ε качественно меняет структуру уравнений за счет понижения порядка. Так происходит, если параметр ε является множителем при старшей производной дифференциального уравнения. Например, мы имели бы в (9) $\varepsilon d_t u$. Соответственно количество постоянных интегрирования становится недостаточным для удовлетворения начальных, или же граничных условий задачи. Такие задачи называют сингулярно возмущенными. Синоним, пришедший из гидродинамики, – задачи с пограничным слоем. Их численная реализация часто проблематична. Как отметил А. Н. Тихонов в предисловии [35]: «Важность результатов исследований по сингулярно возмущенным задачам не вызывает сомнений. Такие задачи возникают естественным образом там, где имеются неравномерные переходы от одних физических характеристик к другим. Известно, например, что в задачах, связанных с решением уравнений Навье – Стокса при малой вязкости, эти неравномерности создают зону пограничного слоя. Без тщательного асимптотического анализа трудно создать математическую теорию пограничного слоя или вести численный счет сингулярно возмущенных задач» [35, с. 7].

Приведем мнение А. Б. Васильевой и В. Ф. Бутузова: «Об их [возмущений] качественном отличии ... можно сказать так: под регулярным возмущением понимают такое возмущение, которое приводит к малому изменению решения невозмущенной задачи. В отличие от регулярных возмущений, сингулярные возмущения, хотя и являются малыми в каком-то смысле, вызывают существенные изменения решения» [36, с. 7]. Как известно, задача Коши для обыкновенного дифференциального уравнения легко сводится к интегральному уравнению Вольтерра второго рода относительно старшей производной (см., например, [37, с. 29 – 30]). В сингулярно возмущенном случае эта производная имеет множитель ε , и когда $\varepsilon = 0$ мы получаем интегральное уравнение Вольтерра первого рода (подлежащая определению функция находится только под знаком интеграла). Данная тема будет развита в заключительном разделе статьи. Вместе с тем, следует отметить, что использование интегральных уравнений снижает остроту обозначенной выше проблемы недостаточности «произвола» для удовлетворения начальных условий.

11. Критерий коммуникабельности носителей

Реализация интегральных уравнений Вольтерра первого рода представляет собой обычный прием исследования динамических систем, базирующийся на очевидной

предпосылке о том, что выходной сигнал появляется после входного, с использованием функции Грина (у нее имеются и другие названия). Эта функция характеризует реакцию системы в момент времени t на воздействие единичной интенсивности в момент времени $\eta < t$ [37, с. 110]. Рассмотрим два смежных носителя $i, i+1, i=1, 2, \dots$. Пусть функции $\psi_i(t)$ и $f_i(t)$ – представляют собой сигналы соответственно на входе и выходе i -го носителя. Логично считать: если упомянутые носители коммуникабельны, то узел их сопряжения надежен в смысле адекватности передач сигналов. Вместе с тем, данный узел выполняет ответственные функции преобразования информации, например из одного электронного формата в другой. Иначе говоря, функцию f_i первого носителя он превращает в сигнал на входе ψ_{i+1} носителя, стоящего вторым. Конечно, каждый из носителей представляет собой систему, структура которой, теоретически, может быть идентифицирована посредством дифференциальных, разностных уравнений и т. п. И, вместе с тем, столь сложный путь представляется излишним (если, применительно к рассматриваемой проблематике, он вообще осуществим). Напротив, с целью тестовой проверки на коммуникабельность предположим следующее.

Между функциями ψ_{i+1} и f_{i+1} реализуется динамический процесс абстрактного характера:

$$\int_0^t k(t, \eta) \psi(\eta) d\eta = f(t), t \in [0, 1] \quad (10)$$

(индекс $i+1$ опущен), где k – функция Грина. Относительно функции ψ , (10) представляет собой интегральное уравнение Вольтерра первого рода. Пусть производная ядра k по времени t непрерывна. Подходит, в частности,

$$k(t, \eta) = \frac{1}{a} \exp\left[-\frac{b}{a}(t-\eta)\right] \quad (11)$$

– функция Грина задачи для обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка [38, с. 17]; a и b – безразмерные константы. При этом реалистично предположить функцию ψ такой, что f в (10) удастся найти, путем интегрирования, лишь численно, или же с помощью измерений. Иначе говоря, малые погрешности здесь неизбежны. В этой связи представляют интерес соображения А. Ф. Верланы и В. С. Сизикова о том, что уравнению (10) присущи черты как традиционно сложного для численной реализации интегрального уравнения Фредгольма первого рода (классическая некорректно поставленная задача), так и интегрального уравнения Вольтерра второго рода. Это уравнение, напротив, – исключительно благоприятный в вычислительном аспекте объект [37, п. 1].

На основании сказанного, проверку коммуникабельности смежных носителей охарактеризуем так:

- разложение функции f_{i+1} в ряд Фурье (см., в частности, [39]) с целью последующего дифференцирования;
- восстановление ψ_{i+1} , зная f_{i+1} , с целью проверки на коммуникабельность путем сопоставления с этой же функцией в интеграле (10);
- повторение, с той же целью, реализаций обозначенного алгоритма для различных соотношений параметров a, b из (11).

Итак, интегральное уравнение (10) является достаточно благоприятным лишь в том случае, когда ядро k и свободный член f обладают «хорошей» гладкостью [37, с. 106]. В общем, аналогична позиция авторов [40, с. 5 – 6], которые отмечают корректность уравнения (10) в парах пространств:

$$\psi \in C[0, 1], L_2(0, 1); k, f \in C^1[0, 1] \quad (12)$$

(соответственно – непрерывных, квадратично суммируемых и непрерывно-дифференцируемых функций). Конечно, хотелось бы идти по второму из обозначенных выше вариантов [37, с. 106], поскольку формально, дифференцируя (10), действительно получаем интегральное уравнение Вольтерра второго рода:

$$k(t, t)\psi(t) + \int_0^t d_t k(t, \eta)\psi(\eta)d\eta = d_t f(t), k(t, t) \neq 0, t \in [0, 1], \quad (13)$$

где $k(t, t) = -b/a^2$. Вместе с тем, дифференцирование функции f , не имеющей аналитического выражения (соответственно нарушается последнее из условий (12)), представляет собой неточную процедуру. Поэтому предварительно функцию f следует разложить в ряд Фурье, теоретически приближающий ее со сколь угодно высокой точностью.

Как ни парадоксально, именно вследствие этого мы получаем интересную возможность проверки сопрягающихся носителей на коммуникабельность. Действительно, касаясь аналогичной ситуации, Адамар говорит: «Вопрос заключается не в том, насколько такая аппроксимация изменяет начальные данные [функция f], а в том насколько она изменяет решение [подразумеваем уравнение (10)]» [41, с. 39]. Т. е., разлагая функцию f в ряд Фурье и, таким образом, сглаживая ее, мы сообщаем задаче (10) малые возмущения. Используя эффективные алгоритмы численной реализации [37, п. 1], мы можем без проблем найти решение интегрального уравнения (13), которое обозначим, как $\psi_*(x)$. Но будет эта функция удовлетворять также и уравнению (10)? Остается выполнить оценки следующего вида:

$$\int_0^1 |\psi(t) - \psi_*(t)| dt < \delta_1; \int_0^1 [\psi(t) - \psi_*(t)]^2 dt < \delta_2, \quad (14)$$

где ψ – входной сигнал из уравнения (10). Конечно, первое из этих условий является более «жестким». Выбор значений δ_1, δ_2 зависит от конкретики рассматриваемой задачи. В общем, он коррелирует со степенью точность, которая предъявляется к параметрам совокупностей передаваемых сигналов. Таким образом, неравенства (14) можно трактовать в качестве критерия коммуникабельности носителей. Здесь два варианта возможны: «включилось» в действие предупреждение Адамара относительно влияния малых возмущений, тогда решения интегральных уравнений (10), (13), вследствие фактора некорректности, существенно отличаются между собой и коммуникабельность нарушена. В противном случае сопрягающиеся носители коммуникабельны. Предполагаем, что охарактеризованная процедура подлежит серии повторений, с вариацией параметров ядра (11). Также могут использоваться другие модели динамических процессов: для уравнения первого порядка, когда коэффициенты a и b в (11) зависят от времени; для дифференциальных уравнений высшего порядка с постоянными коэффициентами [38, с. 18 – 20].

Однако зачем нужна такая череда динамических моделей? Ответим так: из общих соображений логично предположить, что если сопрягающиеся носители коммуникабельны, то все модели будут приводить к задаче (10) в ее корректной постановке, из чего вытекает адекватность уравнению (13), а соответственно и выполнение условий (14). За нарушение такой адекватности ответственна исключительно функция f , которая, в свою очередь, определяется сигналом ψ – на входе носителя. Схематично логика охарактеризованного критерия (14) видится такой:

- на стыке носителей выходной сигнал f_i переформатируется для входа следующего звена как ψ_{i+1} , соответственно возможны погрешности (некоммуникабельность);
- мы погружаем ψ_{i+1} в семейство динамических процессов, которые определяют выходной сигнал f_{i+1} через неопределенный интеграл с ядром в виде функции Грина;
- носители коммуникабельны, если посредством решения обратных задач динамики удастся с достаточной точностью восстанавливать ψ_{i+1} , зная f_{i+1} ;
- обратную постановку олицетворяет интегральное уравнение Вольтерра первого рода (относительно функции ψ_{i+1}), которому объективно присущи свойства как корректно, так и некорректно поставленной задачи;
- если сопрягающиеся носители коммуникабельны, то малые возмущения f_{i+1} несущественны в процедуре редукции к интегральному уравнению Вольтерра второго рода, алгоритмы реализации которого благоприятны.

Выводы

1. Понятие коммуникабельности носителей информации, представленное И. А. Громыко в его Парадигме, несомненно, является плодотворным. При этом в категориях теории динамических систем может использоваться достаточно конструктивный критерий проверки сопрягающихся носителей на коммуникабельность. В основе данного критерия – оценка влияния малых возмущений на устойчивость решения интегрального уравнения Вольтерра первого рода.

2. В качестве элементарного базиса информационного процесса целесообразно использовать речевой сигнал (следует подчеркнуть, – это реалья). Данное обстоятельство создает содержательные предпосылки для проведения аналогий с моделями гидродинамического содержания, которые весьма представительны. Таким образом, результаты, касающиеся различного рода эффектов, и вообще – априори аномальных, казалось бы, явлений, можно будет получать с использованием экономичных средств.

3. М. Мазур трактует «информацию» как «преобразование», а значит, для традиционной интерпретации данного понятия в большей мере подходит название «информационный продукт». Причем, приоритетным является именно «преобразование», поскольку, зная его, мы получаем возможность судить как о производстве «информационного продукта», так и его практической реализации, включая различные усовершенствования.

4. В математической терминологии «преобразование» можно толковать как «оператор» (действие). Соответственно возникает задача восстановления обратного оператора. Иначе говоря, причины по следствию (в корректной постановке). Получение таким образом и анализ данных о «прошлом» эффективно способствуют генерации «нового» знания.

5. Существует количественная (Хартли – Шеннон) и качественная (Мазур) теории информации. Как представляется, здесь мы обозначили компоненты еще одной, а именно – конструктивной теории информации, использующей аксиоматику Мазура. Ее главная задача состоит в адаптации к понятию «информации» мощного потенциала методов математической физики. При этом в первую очередь подразумеваются модели детерминистского свойства, а также аппарат теории дифференциальных и интегральных уравнений.

Список литературы: 1. Громыко И. А. Общая парадигма защиты информации: проблема защиты информации в аспектах математического моделирования: монография. – Харьков : ХНУ им. В. Н. Каразина, 2014. – 216 с. 2. Куликовский Л. Ф., Мотов В. В. Теоретические основы информационных процессов. – М. : Высш. шк., 1987. – 248 с. 3. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – М. : Сов. радио, 1968. – 327 с. 4. Файнштейн А. Основы теории информации. – М. : Изд-во иностр. лит., 1960. – 140 с. 5. Шеннон К. Связь при наличии шума / Теория информации и ее приложения

(сб. переводов) ; под ред. А. А. Харкевича. – М. : Физматгиз, 1959. – С. 82-112. 6. *Хартли Р. В.* Передача информации / Теория информации и ее приложения (сб. переводов) ; под ред. А. А. Харкевича. – М. : Физматгиз, 1959. – С. 5-35. 7. *Шамбадаль П.* Развитие и приложения понятия энтропии. – М. : Наука, 1967. – 278 с. 8. *Таллер В.* Теоретические ограничения скорости передачи информации / Теория информации и ее приложения (сб. переводов) ; под ред. А. А. Харкевича. – М. : Физматгиз, 1959. – С. 58-81. 9. *Бодэ Г., Шеннон К.* Упрощенное изложение линейной минимально-квадратичной теории сглаживания и предсказания ; под ред. А. А. Харкевича. – М. : Физматгиз, 1959. – С. 112 – 137. 10. *Беллман Р.* Процессы регулирования с адаптацией. – М. : Наука, 1964. – 360 с. 11. *Стратонович Р. Л.* Теория информации. – М. : Сов. радио, 1975. – 424 с. 12. *Ефимов А. Н.* Информация: ценность, старение, рассеяние. – М. : Знание, 1978. – 64 с. 13. *Базаров И. П.* Термодинамика. – М. : Высш. шк., 1991. – 376 с. 14. *Шилейко А. В., Кочнев В. Ф., Химушин Ф. Ф.* Введение в информационную теорию систем. – М. : Радио и связь, 1985. – 279 с. 15. *Мазур М.* Качественная теория информации. – М. : Мир, 1974. – 239 с. 16. *Кулаков А. В., Румянцев А. А.* Введение в физику нелинейных процессов. – М. : Наука, 1988. – 160 с. 17. *Дильман В. В., Полянин А. Д.* Методы модельных уравнений и аналогий. – М. : Химия, 1988. – 304 с. 18. *Можесн Ж.* Механика электромагнитных сплошных сред. – М. : Мир, 1991. – 560 с. 19. *Жермен П.* Курс механики сплошных сред. Общая теория. – М. : Высш. шк., 1983. – 400 с. 20. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Гидродинамика. – М. : Наука, 1986. – 735 с. 21. *Бреховских Л. М., Гончаров В. В.* Введение в механику сплошных сред (в приложении к теории волн). – М. : Наука, 1982. – 336 с. 22. *Соболев С. Л.* Уравнения математической физики. – М. : Наука, 1966. – 444 с. 23. *Петровский И. Г.* Лекции об уравнениях с частными производными. – М. : Физматгиз, 1961. – 400 с. 24. *Скучик Е.* Простые и сложные колебательные системы. – М. : Мир, 1971. – 557 с. 25. *Трудделл К.* Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред. – М. : Мир, 1975. – 592 с. 26. *Кристенсен Р.* Введение в теорию вязкоупругости. – М. : Мир, 1974. – 338 с. 27. *Лодж А.* Эластичные жидкости: введение в реологию конечно деформируемых полимеров. – М. : Наука, 1969. – 463 с. 28. *Перегрин Д.* Очарование гидромеханики / Современная гидродинамика: успехи и проблемы ; под ред. Дж. Бэтчелора и Г. Моффата. – М. : Мир, 1984. – С. 91-119. 29. *Биркгоф Г.* Гидродинамика: методы, факты, подобие. – М. : Изд-во иностр. лит., 1963. – 244 с. 30. *Тарг С. М.* Основные задачи теории ламинарных течений. – М. ; Л. : Гостехиздат, 1951. – 420 с. 31. *Кутателадзе С. С.* Теплопередача и гидродинамическое сопротивление : справочное пособие. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 367 с. 32. *Кириллов П. Л., Юрьев Ю. С., Бобков В. П.* Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 359 с. 33. *Угинчус А. А.* Гидравлика и гидравлические машины. – Харьков : Изд-во Харьк. ун-та, 1970. – 396 с. 34. *Моисеев Н. Н.* Математические задачи системного анализа. – М. : Наука, 1981. – 488 с. 35. *Ломов С. А.* Введение в общую теорию сингулярных возмущений. – М. : Наука, 1981. – 398 с. 36. *Васильева А. Б., Бутузов В. Ф.* Асимптотические методы в теории сингулярных возмущений. – М. : Высш. шк., 1990. – 208 с. 37. *Верлань А. Ф., Сизиков В. С.* Интегральные уравнения: методы; алгоритмы; программы : справ. пособие. – К. : Наук. думка, 1986. – 544 с. 38. *Бутковский А. Г.* Характеристики систем с распределенными параметрами (справочное пособие). – М. : Наука, 1979. – 224 с. 39. *Привалов И. И.* Ряды Фурье. – М. ; Л. : Гостехиздат, 1934. – 164 с. 40. *Вайникко Г. М., Веретенников А. Ю.* Итерационные процедуры в некорректных задачах. – М. : Наука, 1986. – 182 с. 41. *Адамар Ж.* Задача Коши для линейных уравнений с частными производными гиперболического типа. – М. : Наука, 1978. – 351 с.

????????????????????????????

Поступила в редколлегия 11.04.2015