Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal https://esj.today

2025, Том 17, № 6 / 2025, Vol. 17, Iss. 6 https://esj.today/issue-6-2025.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/26SAVN625.pdf

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Макаров, К. Н. Резонансные частоты малоразмерных моделей в гидродинамическом лотке с магнитной жидкостью / К. Н. Макаров, Е. Е. Юрченко, Ю. А. Дмитриев, В. Е. Юрченко // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т. 17. — № 6. — URL: https://esj.today/PDF/26SAVN625.pdf.

For citation:
Makarov K.N., Yurchenko E.E., Dmitriev Yu.A., Yurchenko V.E. Resonant frequencies of small-size models in a hydrodynamic tray with a magnetic liquid. *The Eurasian Scientific Journal*. 2025;17(6): 26SAVN625. Available at: https://esj.today/PDF/26SAVN625.pdf. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 625.122

Макаров Константин Николаевич
ФГБОУ ВО «Сочинский государственный университет», Сочи, Россия
Профессор кафедры «Строительства и сервиса»
Доктор технических наук, профессор
E-mail: ktk100@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6175-3618
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=133366
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=70006042633

Юрченко Елена Евгеньевна
ФГБОУ ВО «Сочинский государственный университет», Сочи, Россия
Доцент кафедры «Строительства и сервиса»
Кандидат технических наук
E-mail: wsonormalno@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7946-7209
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=487674
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57221330053

Дмитриев Юрий Анатольевич
ФГБОУ ВО «Сочинский государственный университет», Сочи, Россия
Старший научный сотрудник научно-исследовательского центра
Кандидат химических наук
E-mail: adres11111111@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0007-6377-8003
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1079401

Юрченко Василиса Евгеньевна
ФГБОУ ВО «Сочинский государственный университет», Сочи, Россия
Аспирант
E-mail: sehunminhov@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-0409-0361
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57218109525

Резонансные частоты малоразмерных моделей в гидродинамическом лотке с магнитной жидкостью

Аннотация. В статье рассматривается возможность измерения резонансных частот моделей гидротехнических сооружений из пластика акрилонитрилбутадиенстирола. Генерации волн в гидродинамическом лотке производится за счет движения кулисы и магнита к ней

прикрепленного, находящимися за пределами лотка. Модели выполнены из термопласта, что позволяет преобразовывать электрический сигнал в механическое движение. Данный эффект при наложении постоянных электрических напряжений способствует незначительному изменению размеров и деформаций и используется в испытаниях с определением электромеханического отклика. Это возможно благодаря построенной системе измерений, состоящей из компьютера в режиме осциллографа, регистрирующий колебания модели, двухкаскадного микрофонного усилителя переменного тока, коаксиальных проводов, электродов, улавливающих на поверхности материала модели слабое переменное электромагнитное поле. Испытаны две модели откосно-ступенчатой и сквозной стены. Сравнение вычисленных и полученных при испытаниях длина и высота волн, показывает близкие значения, разница не превышает 8 %.

Экспериментально зафиксированы амплитуды, превышающие фоновые значения в 2,5–3 и более раз, что свидетельствует о резонансе. Резонансными частотами для моделей являются значения, кратные частотам волн — гармоникам, входящими в частотный спектр. Приближенными методами Рэлея-Ритца определены основные собственной частоты моделей. Отмечено, что измеренные и вычисленные значения резонансных частот колебаний моделей, не превышающие 4–8 %. Подтверждена эффективность использования лабораторного стенда с целью определения резонансных частот.

Ключевые слова: магнитная жидкость; малоразмерная модель сооружения из пластика; гидродинамический лоток; резонансные частоты; масштабирование

Введение

Получение резонансных частот гидротехнических сооружений при колебаниях волн важно для предотвращения потери устойчивости и прочности конструкций из-за роста амплитуд колебаний до разрушающих. При выполнении динамических расчетов, вычисляющих собственные частоты сооружений, резонансными станут те из них, которые совпадут с частотами волнового воздействия. В таком случае, потребуется конструктивно изменить жесткость сооружений, либо установить демпфирующие устройства. При испытании моделей сооружений под воздействием волн также возможно установить значения резонансных частот по величине амплитуд колебаний, используя маломасштабные модели из пластика диэлектрика акрилонитрилбутадиенстирола АБС. Данный термопласт позволяет преобразовывать электрический сигнал в механическое движение, то есть обладает свойствами электроупругости. Он не считается классическим электрострикционным материалом, но имеет определенные удельное объемное и электрическое сопротивление, равное 10^{13} Ом*см и диэлектрическую проницаемость в диапазоне 2,6–3,5. Такие свойства позволяют ему при наложении постоянных электрических напряжений получить незначительные изменения размеров и деформаций, что используется в испытаниях с определением электромеханического отклика. Составляющие пластик АБС акрилонитранил, бутадиен и стирол имеют полярные группы и цепи, способны смещаться под воздействием электрического поля, что и приводит к механическим деформациям, согласно [1].

Свойства данного пластика, таким образом, основаны на поляризации и ориентации молекул, взаимодействии аморфных и кристаллических участков, гибкости компонентного состава полимера. В электрическом поле из-за действия электрической силы в модели из этого пластика возникает упругая деформация, регистрируемая откликом по напряжению, который анализируется по амплитуде и фазе. Лабораторный стенд [1], созданный авторами, для определения резонансных частот малоразмерных моделей из пластика под воздействием волн, предназначен для физического моделирования гидротехнических сооружений, согласно [2; 3]. В процессе испытаний, под действием механического действия акустических волн происходят колебания дистиллированной воды, создающей волны для малоразмерных моделей сооружений.

В данной работе представлено преобразование лабораторного стенда, предусматривающее возбуждение волн в магнитной жидкости колебаниями кулисы с магнитом. Таким образом, усилитель мощности звука, электроакустический преобразователь в торцевой части емкости с мембраной для распространения волн заменены на кулису с прикрепленным магнитом, а дистиллированная вода на магнитную жидкость.

Контролируемым параметром в процессе испытаний являются резонансные частоты моделей сооружений, полученные во время колебаний.

Цель испытаний — исключение возникновение резонанса сооружений при волновом воздействии.

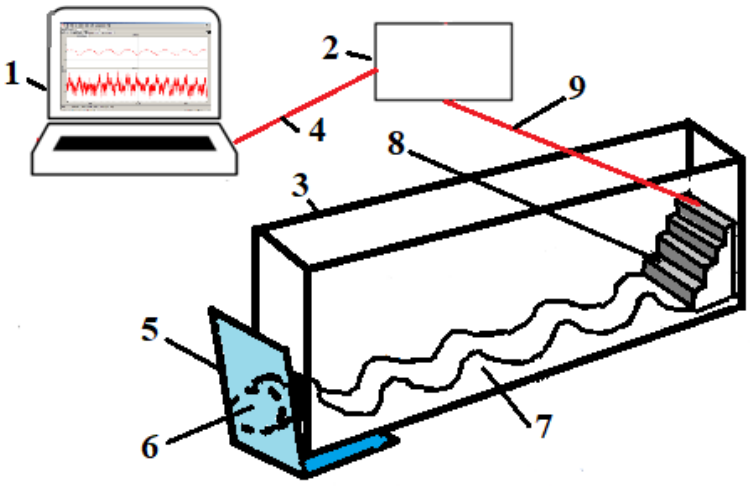
Задачами испытаний являются:

- конструирование лабораторного малоразмерного гидродинамического лотка с магнитной жидкостью и моделями из акрилонитрилбутадиенстирола;
- возбуждение частот, вызывающих резонансные колебания для моделей;
- проведение численных экспериментов, подтверждающих подобие, экспериментально полученных значений резонансных частот;
- анализ результатов лабораторных и численных экспериментов.

1. Экспериментальное определение резонансных частот

Лабораторный стенд на рисунке 1 производит физическое моделирование реакции модели, подобно представленным процессам в [4–10]. Габаритные размеры лотка: длина лотка — 1,00 м, ширина — 0,13 м, высота стенок — 0,40 м, глубина магнитной жидкости $d_м = 0{,}04$ м. Кулиса приводится в движение коленчатым валом тахогенератора. Магнит прикреплен к кулисе. Моделируется регулярное волнение заданного периода. Измеряются частоты колебаний модели сооружения при взаимодействии с волнами. Смена частот производится по анализу осциллограммы, с целью выявления максимальных амплитуд колебаний. Резонансными будут частоты, которые имеют максимальные значения амплитуд. Колеблющаяся модель сооружения через прикрепленный к ее верху электрод, в котором возникает слабый переменный электрический ток, передавать его на вход двухканального микрофонного усилителя. С выхода микрофонного усилителя сигал поступает на линейный двухканальный вход звуковой карты компьютера. В звуковой карте компьютера синусоидальный сигнал оцифровывается и обрабатывается программой Spectralab. Получается осциллограмма, а ввиду симметричности модели, используется один канал записи. Амплитуда колебаний моделей в программе SpectroLab измеряется в mV.

[1] Патент РФ RU 2840935 Лабораторный стенд для определения резонансных частот малоразмерных моделей гидротехнических сооружений.



1 — компьютер в режиме осциллографа, регистрирующий колебания модели; 2 — двухкаскадный микрофонный усилитель переменного тока, замкнутый электростатически, служащий магнитным экраном, имеющий связь между каскадами; 3 — лоток из оргстекла; 4 — коаксиальные провода, соединяющие компьютер и микрофонный усилитель; 5 — кулиса; 6 — магнит; 7 — магнитная жидкость; 8 — модель из акрилонитрилбутадиенстирола; 9 — электрод, улавливающий на поверхности материала модели слабое переменное электромагнитное поле

Рисунок 1. *Лабораторный стенд для определения резонансных частот малоразмерных моделей гидротехнических сооружений, выполненных из материалов, обладающих электроупругими свойствам (разработан авторами)*

Генерация волн происходит в результате падения вовлеченной вверх к магниту, части магнитной жидкости, что представлено на рисунке 2.

Рисунок 2. *Часть магнитной жидкости, вовлеченная магнитом и формирующая волну после падения (фото авторов)*

Магнит из сплава марки N52, имеет диаметр $d_{маг}$ = 0,09 м без экранирующей упаковки. Теслометром марки AMST-1 измерен его параметр — 235 мТл. Электрод на рисунке 3 свободно прикреплен к верху сооружения и находится вне зоны заплеска, так как магнитная жидкость имеет активное сопротивление постоянному току 702 кОм, в отличии от дистиллированной воды с показателем 1 200 кОм. Измерения представлены на рисунке 4.

Рисунок 3. *Лабораторный стенд с прикрепленным к модели 1 электродом (фото авторов)*

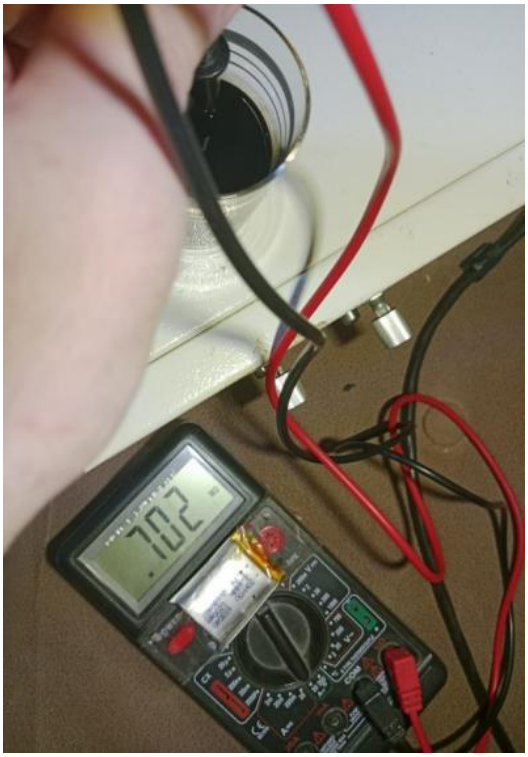


Рисунок 4. *Измерение активного сопротивления постоянному току магнитной жидкости (фото авторов)*

Модель 1 откосно-ступенчатая стена образована пятью ступенями, шириной и высотой 0,025 м, длиной L = 0,11 м. Модель 3 — рама, состоящая из двух вертикальных пластин и одной горизонтальной. Одна из вертикальных пластин имеет вертикальные прорези, позволяющие образовать стойки имитирующие сваи. Ширина рамы 0,085 м, высота рамы 0,095 м, длина рамы 0,115 м, толщина пластин 0,002 м. Массы жидкости и моделей представлены в таблице 1.

Таблица 1

Массы частей жидкости системы

Наименование части жидкости системы	Масса, m_i, кг
магнитная жидкость в лотке	5,408
модель 1 — откосно-ступенчатая сплошная стена с уклоном 1:1,5, утяжеленная песком внутри (рис. 4)	0,700
модель 3 — сквозная свайная двухрядная стена. Сквозность первого ряда свай — 0,4, второй ряд свай — сплошной, пригруженная сверху весом 0,04 кг (рис. 5)	0,0644

Разработано авторами

В процессе эксперимента велась видеосъемка, по стоп-кадрам, представленным на рисунках 5 а и б, осциллограммам на рисунке 6.

а) б)

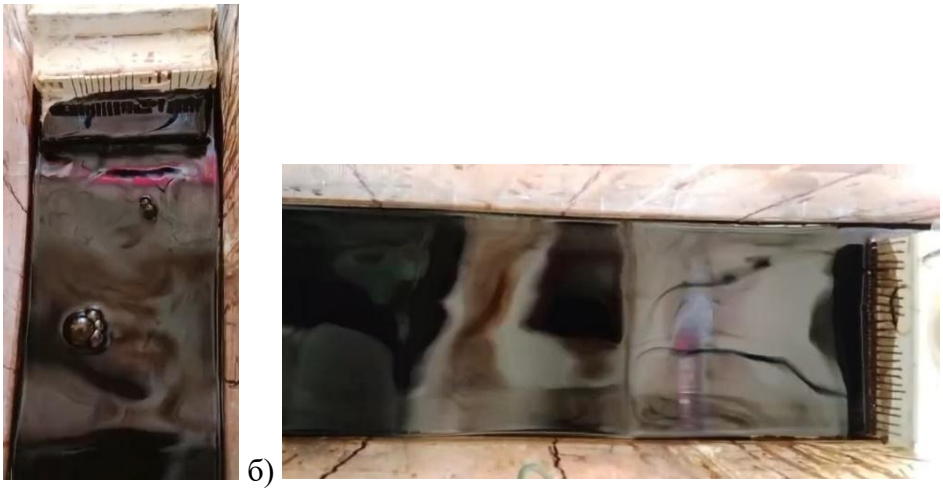


Рисунок 5. *а — модель 1, б — модель 3 в лотке с магнитной жидкостью (фото авторов)*

а) б)

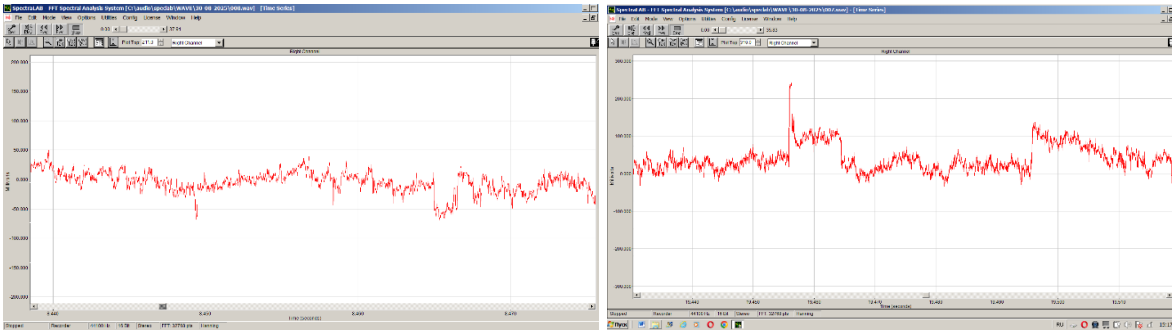


Рисунок 6. *а — резонансная амплитуда 86 mV модели 1 на частоте 111 Гц,*
б — резонансная амплитуда 240 mV модели 3 на частоте 25 Гц (разработан авторами)

На рисунке 6 а и б, зафиксированы амплитуды, превышающие фоновые значения в 2,5–3 и более раз, следовательно имеется резонанс, а частоты колебаний, соответствующие этим амплитудам считаются резонансными собственными частотами моделей. Значения этих частот намного превышают частоты волн, но кратны им. Следовательно резонансными для моделей являются значения, кратные частотам волн — гармоникам, которые согласно [11], представляют собой целочисленные множители основной, и входят в частотный спектр. При резонансе на частотах гармоник, также как и на основной частоте в процессе колебаний, происходит накопление энергии в системе и увеличение ее отклика, то есть амплитуды. Гармоники свидетельствуют о наличии в процессе стоячих волн, возникающих в результате интерференции.

2. Расчет параметров волн и собственной частоты колебаний моделей

2.1 Параметры волн

При бегущих волнах, теоретическая высота волны рассчитывалась по формуле [12], как для волнопродуктора типа «ныряло»:

$$h = \frac{2\pi bA}{T\sqrt{gd}} = \frac{2\times 3{,}14\times 0{,}03\times 0{,}037}{0{,}41\sqrt{9{,}81\times 0{,}04}} = 0{,}027 \text{ м}, \quad (1)$$

где

b — средняя ширина объема жидкости, поднимаемого магнитом;

A — амплитуда колебаний этого объема жидкости;

d — глубина;

T — период колебаний магнита, длина волны:

$$\lambda = T\times\sqrt{g\times H} \quad (2)$$

$$\lambda = T\times\sqrt{g\times H} = 0{,}41\times\sqrt{9{,}81\times 0{,}04} = 0{,}256 \text{ м}, \quad (3)$$

$$\lambda = T\times\sqrt{g\times H} = 0{,}38\times\sqrt{9{,}81\times 0{,}04} = 0{,}238 \text{ м}. \quad (4)$$

2.2 Собственные частоты колебаний моделей

Для приближенного расчета основной собственной частоты использовались методы Рэлея-Ритца, заключающегося в представлении пластин как комбинации простых заданных функций, удовлетворяющих граничным условиям, согласно [13]. Производился подбор коэффициентов, при которых энергетическая характеристика системы достигает минимума или стационарного значения. Задача сводится к поиску оптимальных коэффициентов в конечном наборе функций. В качестве основной собственной принята наименьшая частота, с которой модель свободно колеблется без влияния внешних сил после возбуждения. Колебания модели определяются только ее массой жесткостью и геометрией.

Модель 1 откосно-ступенчатая стена образована пятью ступенями, шириной и высотой 0,025 м, длиной L = 0,11 м. Модуль упругости пластика АБС 1 070 МПа, плотность 1 050 кг/м^3. Общий вес ступенчатой стены с учетом крепежных пластин внутри модели составляет 0,700 кг. Стена свободно установлена в лотке. Момент инерции поперечного прямоугольного сечения ступени I = 5,63×10^{-11}м^4, изгибная жесткость EI = 0,0602 Н×м^2. Осредненная масса модели m = 50,9 кг/м^2. Жесткость изгиба 2,75 Н/м определена по формуле:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\upsilon^2)} = \frac{1.07\times 10^9\times(0.003)^3}{12\left(1-0.35^2\right)} = 2.75 H/м. \quad ()$$

Собственная основная частота колебаний модели 107,2 Гц по формуле:

$$f = \frac{K}{2\pi}\times\sqrt{\frac{D}{m\times L^4}} = \frac{35}{2\times 3{,}14}\times\sqrt{\frac{2{,}75}{50{,}9\times 0{,}11^4}} = 107.2 Гц, \quad (4)$$

где:

К — коэффициенте. зависящий от граничных условий, принятый при свободном опирании 35.

Модель 3 — рама, состоящая из двух вертикальных пластин и одной горизонтальной. Одна из вертикальных пластин имеет вертикальные прорези, позволяющие образовать стойки имитирующие сваи. Ширина рамы 0,085 м, высота рамы 0,095 м, длина рамы 0,115 м, толщина пластин 0,002 м. Модуль упругости пластика АБС E = 1 070 МПа, плотность пластика 1 050 кг/м³, коэффициент Пуассона 0,35. Рама пригружена свергу распределенным весом 40 грамм. Свайная стена свободно установлена в лотке.

Момент инерции поперечного сечения горизонтальной пластины $I = 5{,}66\times10^{-10}$м^4, изгибная жесткость составляет EI = 0,0605 Н×м^2. Масса рамы с пригрузом m = 0,0644 кг, вес W = 0,644 Н. Прогиб рамы под этой нагрузкой 0,0005 м определен по формуле:

$$p = \frac{WL^3}{3EI} = \frac{0{,}644\times0{,}115^3}{3\times1{,}07\times10^9\times5{,}66\times10^{-10}} = 0{,}0005\ м\,. \quad (5)$$

Собственная частота f = 22,5 Гц, определена по формуле:

$$f = \frac{w}{2\pi} = \frac{141{,}0}{6{,}28} = 22{,}5 Гц\,, \quad (6)$$

где:

w — круговая частота 141 (рад/с) , определена по формуле:

$$w = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{1288}{0{,}0644}} = 141 рад/с\,, \quad (7)$$

где:

k — коэффициент жесткости 1288 Н/м, определен по формуле:

$$k = \frac{W}{p} = \frac{0{,}644}{0{,}0005} = 1288 Н/м\,. \quad (8)$$

3. Сравнение измеренных на моделях и вычисленных резонансных частот, масштабирование

В таблице 2 представлены измеренные по стоп-кадрам и вычисленные по формулам в пункте 2.1 параметры волн.

Таблица 2

Расчетные и полученные на моделях параметры волн

Модель №	Амплитуда колебаний, *A*, м	Глубина, *d*, м	Период, *T*, с	Длина волны, м		Ширина слоя воды поднимаемого магнитом, *b*, м	Высота генерируемой волны, h, м	
				расчетная	на модели		расчетная	на модели
1	0,037	0,04	0,41	0,256	0,26	0,04	0,027	0,029
3	0,037	0,04	0,38	0,238	0,24	0,04	0,027	0,028

Разработано авторами

Сравнивая полученные данные, отмечали различия в значениях длин и высот волн не превышающие 8 %.

В таблице 3 представлены измеренные амплитуды колебаний моделей, полученные по осциллограммам и вычисленные значения собственных частот по формулам в пункте 2.2.

Сравнивая полученные значения, отмечали различия в значениях резонансных частот колебаний, не превышающие 4–8 %.

Таблица 3

Расчетные и полученные на моделях параметры волн

Модель №	Фоновая амплитуда колебаний, mV	Амплитуда колебаний модели под воздействием волны, mV	Резонансная амплитуда колебаний модели, mV	Резонансная частота колебаний модели, Гц	
				расчетная	измеренная
1	35,0	45,0	86,0	107,0	111,0
3	35	100,0	240,0	22,5	24,4

Разработано авторами

Результаты пересчета экспериментальных данных в натуру при масштабах модели 1:50 и 1:70 выполнены согласно [12] и представлены в таблице 4.

Таблица 4

Масштабирование моделирования в натурные условия

Модель №	Наименование характеристики	Формула по Фруду	$T_м$ α_{l2} = 1:50 (измерения)	М 1:50 к-т пересчета в натуру	$T_н$ с, α_{l2} = 1:1	М 1:70 к-т пересчета в натуру	$T_н$ с, α_{l2} = 1:1
1	Время (период), с	$\alpha_t = \alpha_l^{0,5}$	0,009	0,1414	0,064	0,1183	0,076
3	Время (период), с	$\alpha_t = \alpha^{l0,5}$	0,042	0,1414	0,29	0,1183	0,355

Разработано авторами

Выводы

1. Разработан лабораторный стенд с использованием магнитной жидкости вместо воды, позволяющий определять резонансные частоты колебаний моделей сооружений под воздействием волн, созданных кулисой с магнитом, находящимися вне лотка.
2. Выполненные гидродинамические испытания показывают, что резонансу соответствуют амплитуды колебаний моделей, превышающие фоновые значения в 2,5–3 раза.
3. Резонансным частотам моделей соответствуют гармоники возбуждаемых в магнитной жидкости волн. Гармоники свидетельствуют о наличии в системе стоячих волн, возникающих в результате интерференции.
4. Сопоставление расчетных и измеренных параметров — длины и высоты волн в лотке, резонансных частот колебаний моделей показывает, что разница не превышает 8 %, что подтверждает эффективность использования лабораторного стенда с целью определения резонансных частот, в том числе и для масштабирования подученных результатов до полномасштабных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонович, И.А. исследование свойств ABS-пластика в образцах, полученных по технологии FFF-печати / И.А. Леонович, Д.Д. Адинцов // Вестник Белорусско-Российского университета. — 2023. — № 1(78). — С. 13–21.
2. Тлявлина Г.В. Физическое моделирование как метод научного обоснования нормативной базы в области защиты транспортных сооружений от волнового воздействия. TRANSPORT. TRANSPORT FACILITIES. ECOLOGY, NO. 3, 2023, с. 18–32.
3. Мордвинцев К.П. Власова В.С. Алексеева А.Д. Проницаемые берегозащитные сооружения / Системные технологии 2 (№ 47) 2023, с. 31–42 doi: 10.55287/22275398_2023_2_31.

4. Vyzikas, T., Stagonas, D., Buldakov, E., Greaves, D. The evolution of free and bound waves during dispersive focusing in a numerical and physical flume // Coastal Engineering. 2018. Vol. 132. P. 95–109.

5. Naletova V.A., Turkov V.A., Pelevina D.A., Kalmykov S.A. Hydrodynamics of a magnetic fluid layer in a traveling magnetic field // Magnetohydrodynamics. 2008, Vol. 44, N 2, pp. 149–154.

6. Massart, R. Preparation of aqueous magnetic liquids in alkaline and acidic media // IEEE Transactions on Magnetics. — Vol. 17. — No 2. — P. 1247–1248. — DOI: 10.1109/tmag.1981.1061188. — URL: https://www.sci-hub.ru/10.1109/tmag.1981.1061188 (дата обращения: 16.03.2025).

7. Kikura H. Propagation of surface waves of magnetic fluids in travelling magnetic fields // Journal of magnetism and magnetic materials. — 1990. — Т. 85. — № 1-3. — С. 167–170.

8. Дмитриев Ю.А., Воробей Е.К. Электропроводящие магнитные жидкости для современной экономики: разработка способов изготовления, исследование свойств, определение областей применения // Социально-экономическое пространство регионов. СГУ, 2024. 18(2), с. 86–95.

9. Манжосов В.К., Петрова Т.Е. Анализ движения кривошипно-коромыслового механизма с обеспечением удара бойка-коромысла о технологическую среду, Вестник УлГТУ — 2016. № 1. — С. 18–21.

10. Манжосов В.К., Петрова Т.Е. Передача движения в кривошипно-коромысловом механизме // Вестник УлГТУ. — 2013. — № 1. — С. 20–23.

11. Силкин Д.А. О резонансах высших гармоник в электрических сетях // Электротехнические системы и комплексы — 2013 — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-rezonansah-vysshih-garmonik-v-elektricheskih-setyah (дата обращения 23.10.2025).

12. Кожевников М.П. Гидравлика ветровых волн. М., Энергия,1975, 264 с.

13. Чэнь Т. Ву.Ч., Цюй Ц. Исследование методом Рэлея-Ритца колебаний прямоугольной пластины, опертой в угловых точках и нагруженной сосредоточенными массами // Прикладная механика и техническая физика — 2022 — Т 63, № 4(374) — С. 156–163.

Makarov Konstantin Nikolaevich
Sochi State University, Sochi, Russia
E-mail: ktk100@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6175-3618
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=133366
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=70006042633

Yurchenko Elena Evgen'evna
Sochi State University, Sochi, Russia
E-mail: wsonormalno@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7946-7209
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=487674
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57221330053

Dmitriev Yuri Anatolievich
Sochi State University, Sochi, Russia
E-mail: adres11111111@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0007-6377-8003
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1079401

Yurchenko Vasilisa Evgen'evna
Sochi State University, Sochi, Russia
E-mail: sehunminhov@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-0409-0361
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57218109525

Resonant frequencies of small-size models in a hydrodynamic tray with a magnetic liquid

Abstract. The article considers the possibility of measuring the resonant frequencies of models of hydraulic structures made of plastic acrylonitrile butadiene styrene. The generation of waves in the hydrodynamic tray is carried out due to the movement of the magnet, attached to the curtain rod outside the tray. The models are made of thermoplastic, which makes it possible to convert an electrical signal into mechanical motion. This effect, when applied to constant electrical voltages, contributes to a slight change in size and deformation and is used in tests to determine the electromechanical response. This is possible thanks to a built-in measurement system consisting of an oscilloscope computer that registers model vibrations, a two-stage AC microphone amplifier, coaxial wires, and electrodes that detect a weak alternating electromagnetic field on the surface of the model material. Two models of a slope-stepped and through-wall have been tested. A comparison of the wavelengths and heights calculated and obtained during the tests shows similar values, the difference does not exceed 8 %.

Amplitudes exceeding the background values by 2,5–3 times or more have been experimentally recorded, which indicates resonance. The resonant frequencies for the models are multiples of the frequencies of harmonic waves included in the frequency spectrum. The basic natural frequencies of the models are determined using approximate Rayleigh-Ritz methods. It is noted that the measured and calculated values of the resonant oscillation frequencies of the models do not exceed 4–8 %. The effectiveness of using a laboratory bench to determine resonant frequencies has been confirmed.

Keywords: magnetic fluid; small-scale structure model made of plastic; hydrodynamic tray; resonant frequency; scaling