

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНОЙ МОДАЛЬНОСТИ В АКВАКУЛЬТУРЕ

Железняков Д.В., Головки Ю.А., Лихтер А.М.

Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева, Астрахань, Россия
dv.zheleznyakov@yandex.ru

Аннотация. В статье проводится оценка эффективности использования систем управления различной модальности на предприятиях аквакультуры. Целью исследования является сравнение эффективности моно- и мультимодальных систем управления с точки зрения объема передаваемой информации. Для достижения этой цели рассмотрены математические модели обоих типов систем, а также выполнено симуляционное моделирование. Результаты исследования показали, что мультимодальные системы управления демонстрируют повышенную эффективность, зависящую от типа и алгоритма передачи информации. Полученные результаты могут быть применены для разработки новых и улучшения существующих технических систем управления на предприятиях аквакультуры.

Ключевые слова: аквакультура, мономодальные и мультимодальные системы управления, математическая модель, симуляционное моделирование, эффективность предприятий.

Введение

В связи с развитием аквакультуры предприятия сталкиваются с рядом сложных задач, связанных с необходимостью повышения производительности и обеспечения устойчивого экономического развития. В условиях растущих требований к качеству продукции и ограниченности ресурсов, всё более актуальным становится вопрос о выборе эффективных систем управления. Системы управления различной модальности, включая автоматизированные, играют ключевую роль в организации и оптимизации производственных процессов в рыбоводстве [1].

Для управления применяют разные системы управления гидробионтами: либо мономодальные, использующие один канал передачи информации, либо мультимодальные, использующие два и более каналов. Вопросам исследования эффективности указанных систем посвящены работы [2,3]. Однако большинство работ сосредоточено на изучении их отдельных аспектов, таких как тип передаваемой информации, влияние способа и внешних факторов на эффективность её передачи. В связи с этим, целью настоящей статьи является сравнение эффективности мономодальной и двумодальной систем управления гидробионтами с точки зрения количества передаваемой информации и определение эффективных рабочих параметров, влияющих на их производительность. В работе рассмотрены системы управления на предприятиях аквакультуры, выращивающих карповые и форелевые виды гидробионтов, которые накладывают ряд количественных ограничений на границы рабочих параметров системы [4,5].

Для достижения этой цели рассмотрены математические модели моно- и двумодальной систем передачи информации гидробионтам, а также выполнено симуляционное моделирование. Результаты исследования позволяют сделать выводы о преимуществах и недостатках указанных систем и сформулировать рекомендации для их практического применения.

1. Основная часть

В более ранних работах задача повышения эффективности управления гидробионтами сводилась к поиску вектора параметров P^* [6,7]:

$$\vec{P}^* = \vec{P}(x_1, x_2, \dots, x_n, z_1, z_2, \dots, z_m, a_1, a_2, \dots, a_k), \quad (1)$$

при котором, с учетом ограничений:

$$\begin{aligned} \varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_n, z_1, z_2, \dots, z_m, a_1, a_2, \dots, a_k) &\leq 0, \\ \eta_j(x_1, x_2, \dots, x_n, z_1, z_2, \dots, z_m, a_1, a_2, \dots, a_k) &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

количество передаваемой информации гидробионтам достигает максимального значения (3) [6]:

$$\Pi = \Pi_{max}(P^*), \quad (3)$$

где $\Pi = \Delta f \cdot \log_2 \left(1 + \frac{C}{\text{Ш}}\right)$, $C/\text{Ш}$ – функция «отношение сигнал-шум», Δf – ширина полосы пропускания канала передачи информации, воспринимаемая объектом управления.

При этом одним из возможных путей повышения эффективности является использование мультимодальных систем, различия в моделях, которых отражены в виде функции «отношение сигнал-шум». Общая схема распространения управляющих сигналов волнового типа от точечного источника в водной среде схематично изображена на рисунке 1.

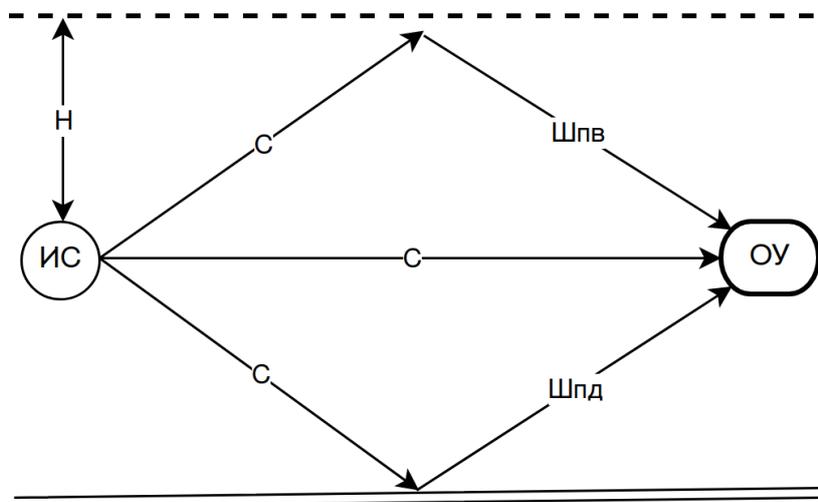


Рис. 1. Схема распространения волнового сигнала от точечного подводного источника, ИС – источник сигнала, ОУ – объект управления, С – сигнал, H – глубина горизонта лова, Шпв, Шпд – шумы, создаваемые отражением сигнала от поверхностей воды и дна соответственно

При этом функция «отношение сигнал-шум» для источников разной модальности имеет вид (4) [8]:

$$\frac{C}{\Sigma} = \frac{C}{\Sigma_1 + \Sigma_2 + \dots + \Sigma_n}, \quad (4)$$

где $\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_n$ функции, описывающие шумы различной природы, а С – функция сигнала.

Среди сигналов для управления гидробионтами часто используют свет и звук, поэтому, для примера, были рассмотрены акустический и световые сигналы как одни из наиболее часто применяемых в технических системах управления гидробионтами. Сигнал подводного источника света рассчитывается по формуле (5)[9]:

$$C_{\Pi} = \frac{683}{(H)^2} \cdot R \cdot S_w \cdot \int_{400 \cdot 10^{-9}}^{640 \cdot 10^{-9}} e^{-\alpha(\lambda)} \cdot I(\lambda) \cdot v(\lambda) d\lambda, \quad (5)$$

где R – площадь глаза рыбы; S_w – площадь поверхности источника излучения; $\alpha(\lambda)$ – показатель ослабления света в воде; $I(\lambda, T)$ – функция спектральной пространственной плотности излучения источника; $v(\lambda)$ – функция относительной спектральной чувствительности глаза рыбы.

Сигнал подводного источника звука рассчитывается по формуле (6) [10]:

$$C = \frac{C_0 \cdot n}{X} * e^{-\beta \cdot X}, \quad (6)$$

где C_0 – исходный сигнал, X – расстояние до объекта управления, β – коэффициент затухания.

Также необходимо учитывать шумы, создаваемые рассеянными отражениями сигнала от других поверхностей. Для примера светового сигнала был взят шум, вызванный отражением сигнала источника от поверхности [11,12]:

$$\Sigma_{\text{пв}} = \frac{683 \cdot H \cdot S_w \cdot R}{\sqrt{H^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} \cdot \left(H^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2\right)} \cdot \int_{400 \cdot 10^{-9}}^{640 \cdot 10^{-9}} e^{-2\alpha(\lambda) \cdot \sqrt{H^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2}} \cdot \left(\frac{n(\lambda)-1}{n(\lambda)+1}\right)^2 \cdot I(\lambda) \cdot v(\lambda) d\lambda, \quad (7)$$

где $n(\lambda)$ – относительный показатель преломления воды. L – удаленность объекта управления от источника излучения. Шум, вызванный отражением сигнала источника от донной поверхности:

$$\Sigma_{\text{пд}} = \frac{S_w \cdot R}{4 \cdot \pi \cdot (z(\alpha, L))^2} \cdot \int_{400 \cdot 10^{-9}}^{640 \cdot 10^{-9}} e^{-2\alpha_{\text{мед}}(\lambda) \cdot z(\alpha, L)} \cdot I(\lambda) \cdot v(\lambda) d\lambda, \quad (8)$$

Т.к. система зависит от множества параметров, ее ручной контроль является затруднительным, и требует автоматизации [13]. Для выполнения целей управления в комплексе можно использовать

алгоритм, изображенный на рисунке 2. От начала работы системы предлагается выбор источника излучения, а затем объекта управления, так как выбранный вид гидробионтов влияет на предельные границы для выбора диапазона работы источника сигнала, причем как акустического, так и оптического.

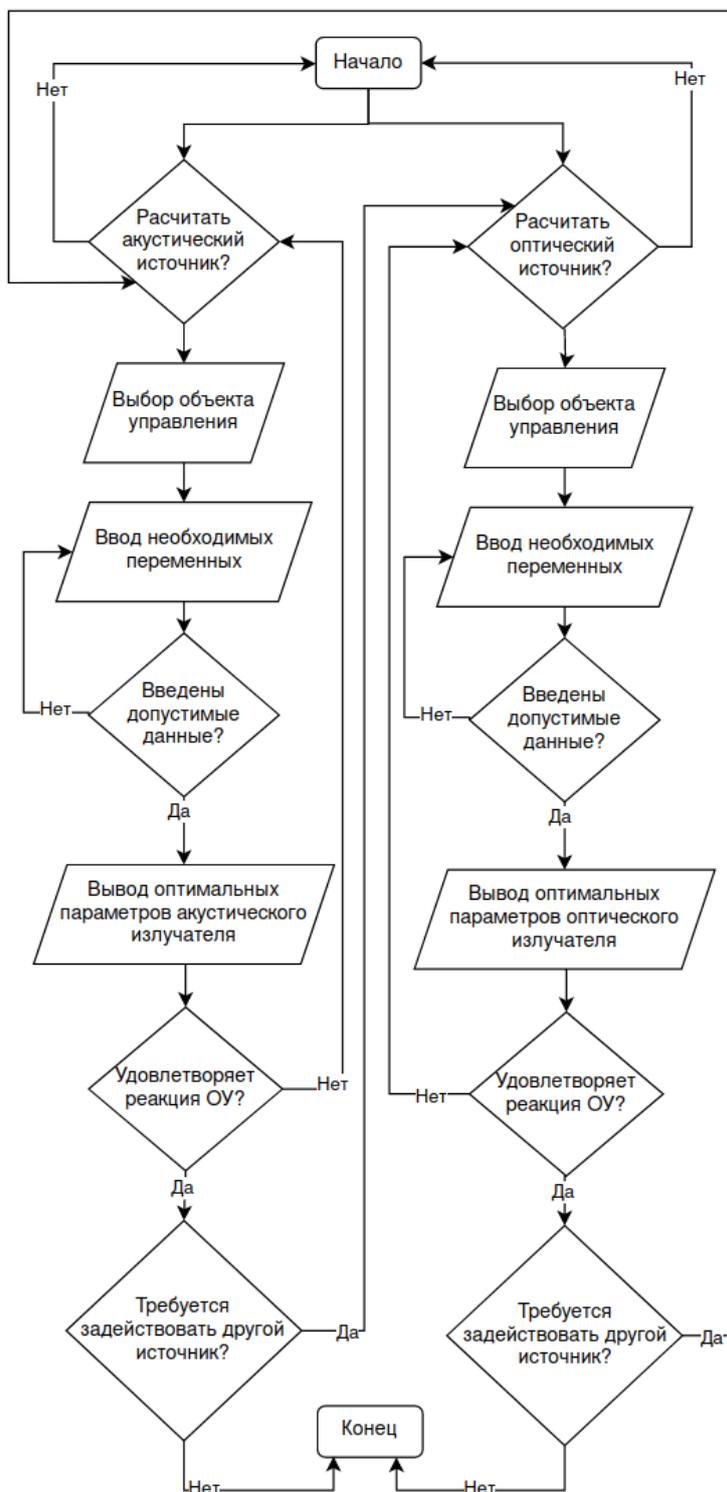


Рис. 2. Алгоритм автоматизированной системы управления гидробионтами с использованием селективных источников

После выбора объекта управления система может точнее определить корректность вводимых данных, и, затем рассчитать оптимальные параметры источника сигнала. По ходу работы системе требуется контролировать реакцию гидробионтов, чтобы, в случае отсутствия требуемого движения можно было предоставить рекомендации по изменению параметром. Алгоритм описывает пример

двумодальной системы, потому можно рассчитать и задействовать по аналогичной схеме один или более источников управляющего сигнала.

Один из вариантов реализации двумодальной системы управления с применением светового и звукового сигналов представлен на рисунке 3.

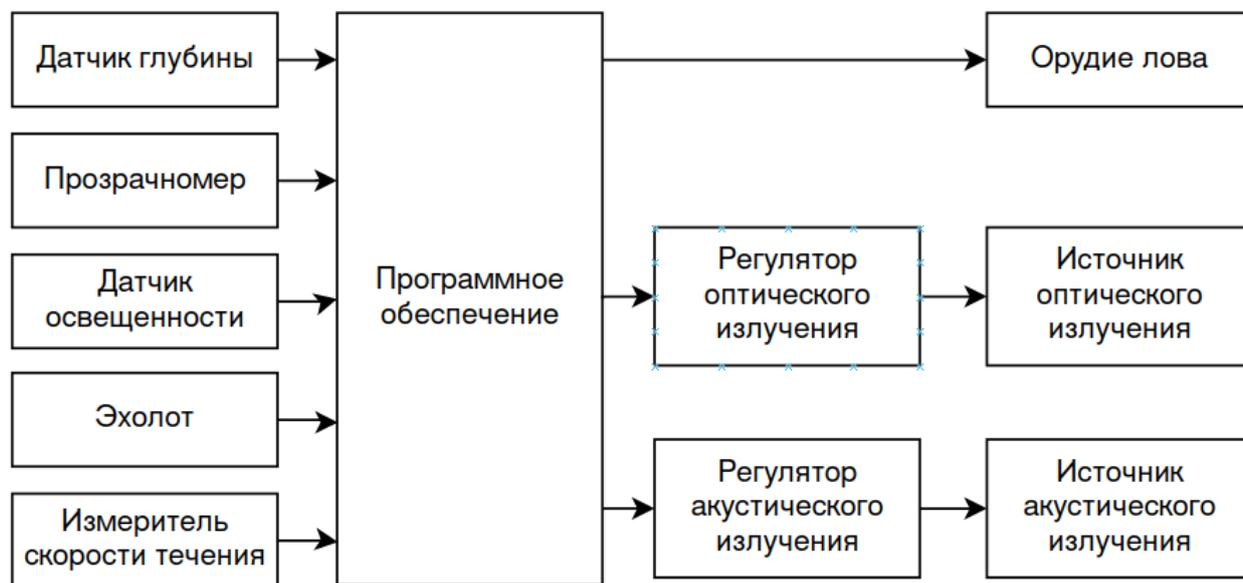


Рис. 3. Структурная схема двумодального комплекса управления гидробионтами

Сенсорный блок комплекса требуется для фиксации параметров окружающей среды и мониторинга реакции гидробионтов на управляющие воздействия. В качестве примеров рассматриваемых систем выбраны предприятия аквакультуры, выращивающие карповые и форелевые виды гидробионтов. Параметры водоемов указанных хозяйств отличаются, также отличаются и сами виды, что накладывает ограничения на часть параметров модели.

На примере акустического сигнала рассмотрены зависимости функции «отношение сигнал-шум» для водоемов карповых хозяйств (рис. 4.) и форелевых хозяйств (рис. 5.)

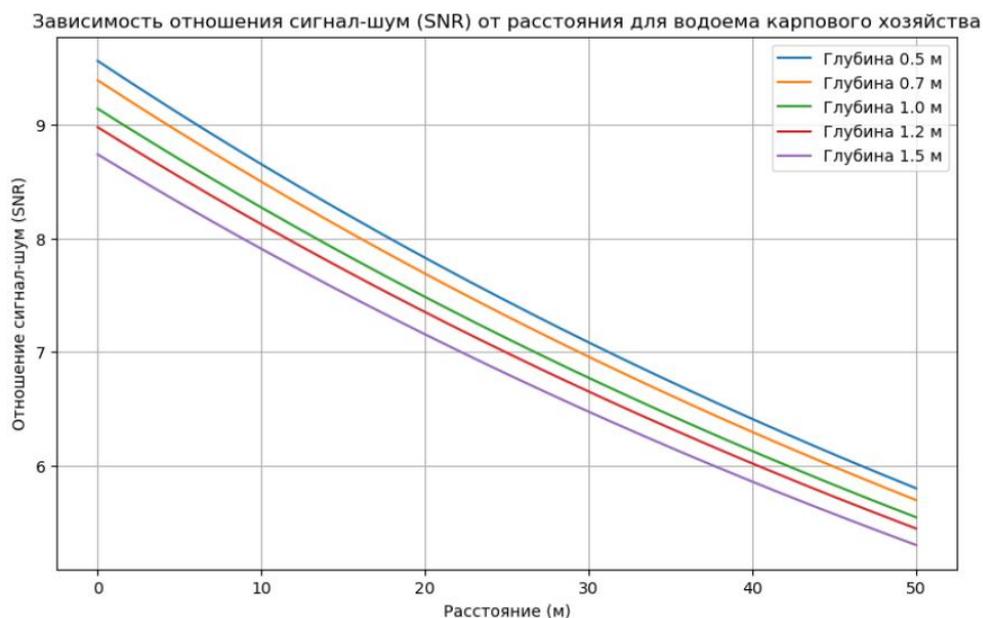


Рис. 4. Зависимость функции «отношение сигнал-шум» от расстояния до объекта управления для карпового хозяйства при заданной глубине

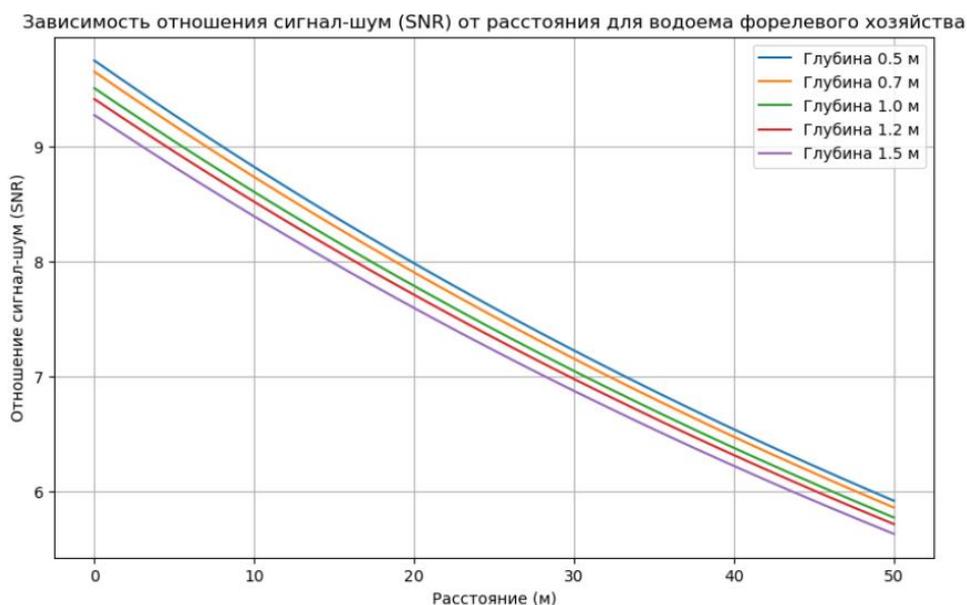


Рис. 5. Зависимость функции «отношение сигнал-шум» от расстояния до объекта управления для форелевого хозяйства при заданной глубине

Из графиков видно незначительные изменения при изменении глубины горизонта лова, а также небольшие отличия в затухании сигнала, вызванные различиями характеристик водоемов. При этом сохраняется возможность эффективного управления на рассматриваемых расстояниях.

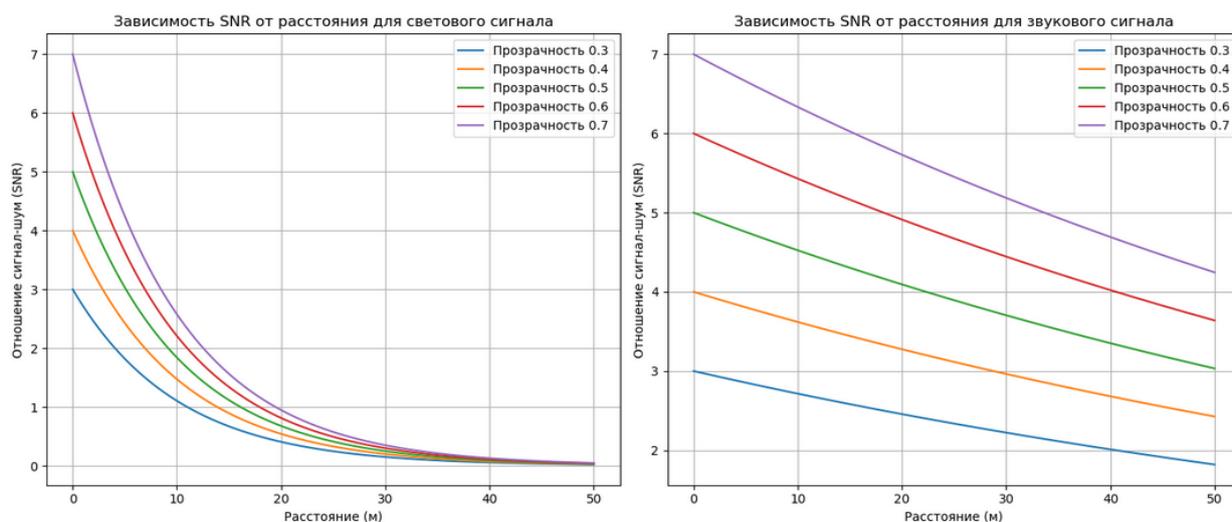


Рис. 6. Зависимость функции «отношение сигнал-шум» от расстояния до объекта управления для объектов аквакультуры при заданной прозрачности

Из графиков на рисунке 6 видно различия в зависимостях для расстояния до объекта управления в условиях объекта аквакультуры. Так световой сигнал может показывать низкую эффективность уже на расстоянии в 10 м, в то время как звуковой сигнал обладает возможностью оказывать эффективное информационное воздействие на объект управления на всем рассматриваемом диапазоне.

Далее рассмотрим для примера двумодальную (свет и звук) систему управления гидробионтами с точки зрения передаваемого количества информации.

Зависимость пропускной способности канала от расстояния для различных уровней прозрачности воды

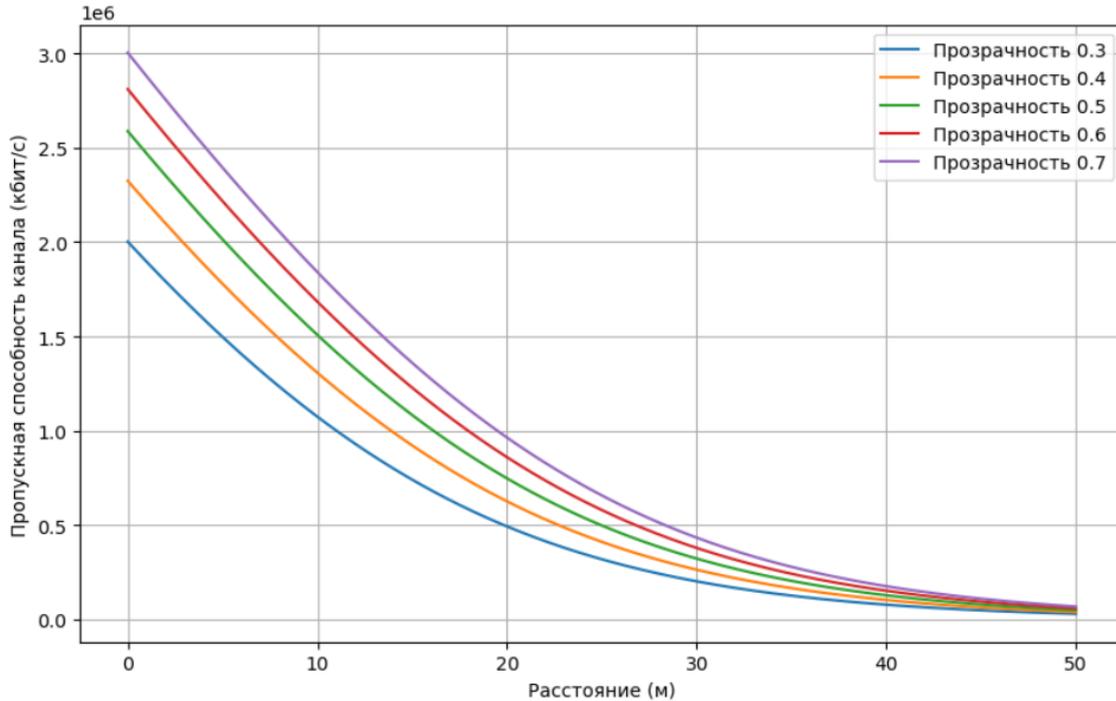


Рис. 7. Зависимость функции «отношение сигнал-шум» от расстояния до объекта управления для объектов аквакультуры при заданной прозрачности

Из графика на рисунке 7 видно снижение объема передаваемой информации с удалением объекта управления от комбинированного источника, при этом, сама возможность передачи сохраняется на рассматриваемом диапазоне.

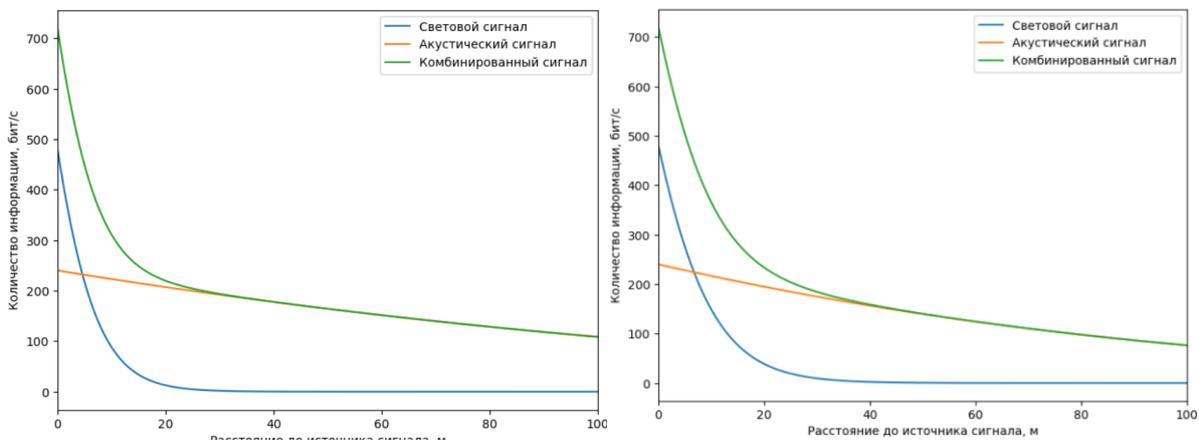


Рис. 8. Графики зависимости количества информации от удаленности объекта управления: а) для карпового хозяйства, б) для форелевого хозяйства

В аналогичных условиях, при рассмотрении большего диапазона расстояний на рисунке 8 отражены сравнительные графики для звукового, светового и комбинированного сигналов. На графиках видно, что на расстояниях до 20м количество передаваемой информации для двумодальной системы выше в 1.5-3 раза в зависимости от типа базового сигнала. На больших расстояниях, с угасанием оптического сигнала, количество информации, доходящее до объекта управления, остается схожим к таковому количеству для акустического сигнала. Для дальнейших исследований требуется рассмотреть влияние окружающих особей на восприятие управляющего сигнала [14]

3. Заключение

Рассмотрев результаты моделирования процесса передачи сигнала и вычислительного эксперимента для моно- и двумодальной систем, сделан вывод о преимуществе двумодальной системы передачи сигналов гидробионтам относительно моноmodalной, при использовании световых и

звуковых рецепторов. На примере объектов аквакультуры, предназначенных для выращивания карповых и форелевых показана теоретическая возможность существенного увеличения количества передаваемой информации на малых расстояниях относительно использования только звукового сигнала, а также сохранения возможности эффективного управления на больших расстояниях по сравнению со световым сигналом.

Литература

1. Кузнецов Ю. А., Поленюк В. В., Кузнецов М. Ю. Гидроакустические технологии дистанционного управления поведением рыб в рыбоводстве // Научные труды Дальрыбвтуза. 2008. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gidroakusticheskie-tehnologii-distantsionnogo-upravleniya-povedeniem-ryb-v-rybovodstve> (дата обращения: 14.05.2024).
2. Семенов В. И. Анализ способов управления поведением рыб через воздействие на органы зрения // Научные труды Дальрыбвтуза. 2011. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sposobov-upravleniya-povedeniem-ryb-cherez-vozdeystvie-na-organy-zreniya> (дата обращения: 14.05.2024).
3. Миттелло А. В., Ключарева Н. Г., Кравченко Ю. Н. Эффективность акустического метода управления поведением рыб и факторы, влияющие на нее // Труды ВНИРО. 2019. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-akusticheskogo-metoda-upravleniya-povedeniem-ryb-i-factory-vliyayushchie-na-nee> (дата обращения: 14.05.2024).
4. Федосеев О. Н., Хурнова Л. М., Новичков С. В. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ САДКОВОГО КАРПОВОГО ХОЗЯЙСТВА ПО ЗАДАННОМУ КОЛИЧЕСТВУ САДКОВ // Вестник МАН РС. 2022. №S2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-matematicheskoy-modeli-sadkovogo-karpovogo-hozyaystva-po-zadannomu-kolichestvu-sadkov> (дата обращения: 31.07.2024).
5. Шаихов Р. Ф. ОРГАНИЗАЦИЯ ФОРЕЛЕВОГО ХОЗЯЙСТВА НА ОТКРЫТОЙ ВОДЕ // ИАСЖ. 2021. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-forelevogo-hozyaystva-na-otkrytoy-vode> (дата обращения: 31.07.2024).
6. Лихтер, А.М. Моделирование систем управления процессами лова рыбы: монография/ А.М. Лихтер. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2006. – 315с.
7. Kushner A. G. Dynamics of evolutionary differential equations with several spatial variables // Mathematics. - 2023. - Vol. 11, no. 2. - P. 335–346.
8. Кузьмин А.Н., Лихтер А.М. Исследование процесса передачи оптического сигнала в системах лова рыбы с применением селективных подводных источников света // Известия ВолгГТУ. 2014. №21 (148) С. 72-75.
9. Морозов, Б. Б. Разработка моделей селективного лова с помощью передачи акустического моночастотного сигнала гидробионтам / Б. Б. Морозов, Т. А. Журнова // Социально-экономические и экологические аспекты развития Прикаспийского региона: Материалы Международной научно-практической конференции, Элиста, 28–30 мая 2019 года. – Элиста: Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, 2019. – С. 551-554. – EDN SKACDI.
10. Отражение света // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. — 3-е изд. — М.: Советская энциклопедия, 1969—1978.
11. Henrik Wann Jensen, Stephen R. Marschner, Marc Levoy, and Pat Hanrahan. 2023. A Practical Model for Subsurface Light Transport. Seminal Graphics Papers: Pushing the Boundaries, Volume 2 (1st ed.). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 35, 319–326. <https://doi.org/10.1145/3596711.3596747>
12. Giyasov, G.B., Ledenyov, L.V., Matveeva, M.I. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound. Magazine of Civil Engineering. 2018. 77(1). Pp. 13–22. doi: 10.18720/MCE.77.2
13. Кушнер А.Г. Разработка методов управления нелинейными процессами в сплошных средах // в сборнике Труды шестнадцатой международной конференции (26–28 сентября 2023 г., Москва, Россия) "Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2023". Научное электронное издание. МОСКВА: ИПУ РАН. - 2023. - С. 138-143.
14. Can, Fatih & Şen, Hayrettin. (2016). A Simulation Study on Collective Motion of Fish Schools. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 131-141. 10.1007/978-3-319-41000-5_13.