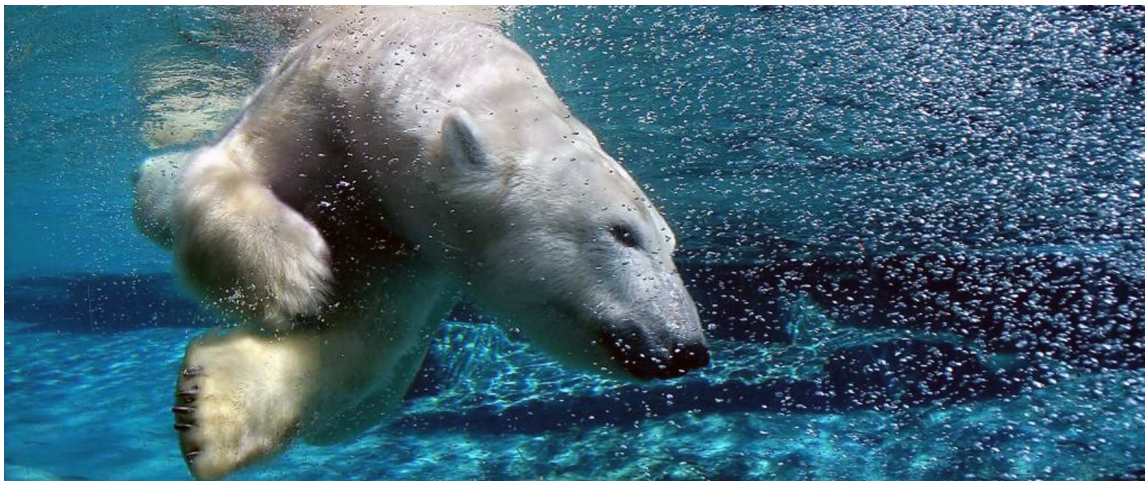




БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 639.3.05
EDN ADYDEB

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ, ВЛИЯЮЩИХ НА СОЗДАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОФШОРНЫХ РЫБОВОДНЫХ ФЕРМ

А.С. Реуцкий, канд. техн. наук, Российский морской регистр судоходства, 191186 Россия, Санкт-Петербург, Миллионная ул., 7А, e-mail: reutskii.as@rs-class.org

А.Е. Чугаева, стажер, Российский морской регистр судоходства, 191186 Россия, Санкт-Петербург, Миллионная ул., 7А, e-mail: chugaeva.ae@rs-class.org

Д.С. Семиничев, канд. техн. наук, Российский морской регистр судоходства, 191186 Россия, Санкт-Петербург, Миллионная ул., 7А, e-mail: semionichev.ds@rs-class.org

В работе рассматривается нормативная база классификационных обществ по созданию и эксплуатации офшорных рыбоводных ферм, проанализированы актуальные зарубежные статьи, посвященные проблеме проектирования офшорных рыбоводных ферм с целью формирования перечня исходных требований на проектирование морских объектов этого типа.

Ключевые слова: морские установки, аквакультура, рыбоводные фермы, садки, управление риском.

Для цитирования: Реуцкий А.С. Нормативная база классификационных обществ по созданию и эксплуатации морских офшорных рыбоводных ферм / А.С. Реуцкий, А.Е. Чугаева, Д.С. Семиничев // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 80. — С. 4 — 20. — EDN ADYDEB.

ANALYSIS OF CONDITIONS AFFECTING THE DESIGN OF OFFSHORE FISH FARMS

A.S. Reutskii, PhD, Russian Maritime Register of Shipping, 191186 Russia, St. Petersburg, Millionnaya ul., 7A, e-mail: reutskii.as@rs-class.org

A.E. Chugaeva, Intern, Russian Maritime Register of Shipping, 191186 Russia, St. Petersburg, Millionnaya ul., 7A, e-mail: chugaeva.ae@rs-class.org

D.S. Semionichev, PhD, Russian Maritime Register of Shipping, 191186 Russia, St. Petersburg, Millionnaya ul., 7A, e-mail: semionichev.ds@rs-class.org

The paper examines the regulatory framework of classification societies for the creation and operation of offshore fish farms, analyzes current articles on the problem of designing offshore fish farms in order to form a list of initial requirements for the design of offshore facilities of this type.

Keywords: offshore installations, aquaculture, fish farms, risk management.

For citation: Reutskii A.S., Chugaeva A.E., Semionichev D.S. Regulatory framework of classification societies for the construction and operation of offshore fish farms. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 80. P. 4 — 20. EDN ADYDEB. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Разведение рыб имеет богатую историю: первое упоминание о разведении карпов в Китае датируется 475 г. до н.э., на Руси рыбоводство появилось в X — XI вв. В настоящее время рыборазведение переживает подъем, связанный с ежегодным ростом населения в мире, который в 2024 г. достиг 1 %/год, что составляет 82 млн человек. В связи с ростом населения Земли увеличивается спрос и на продукты питания, которых со временем становится недостаточно для того, чтобы удовлетворить растущую потребность. Незаменимыми в рационе человека являются продукты с содержанием животного белка, к которым относятся продукты рыболовства и рыбоводства. Наибольший прирост населения наблюдается в странах с высоким уровнем бедности и недостаточно доступными продуктами, где добыча наполненного белком питания должна быть минимально, насколько возможно, затратной и достаточно эффективной.

В настоящий момент рыбный промысел не отвечает концепции «устойчивого развития» (в части экологичности) из-за того, что большинство видов промысловых рыб вылавливается на грани их способности к воспроизводству [1]. В настоящее время для добычи рыбы чаще используют траулеры и сейнеры — рыболовные суда, однако из-за ограниченности мест лова, конкуренции за них и ряда других проблем, нестабильности объема добычи, негативного влияния на окружающую среду и популяцию редких и исчезающих видов рыб становится экономически целесообразно выращивать необходимые разновидности рыб и морепродуктов непосредственно в море. За последнее десятилетие аквакультура стала надежным источником рыбы на мировом продовольственном рынке, закрывающим пробел между спросом и предложением со стороны рыбного промысла в соответствующем сегменте. По данным ООН, доля выращенной рыбы от общего объема долгие годы неуклонно росла, пока в 2022 г. не было зафиксировано превышение объема искусственно выращенной рыбы (94,4 млн т) над объемом вылова в дикой природе (91 млн т). В тот же период более 3 миллиардов человек полагались на рыбу и морепродукты как на основной источник белка [2]. Среднегодовой прирост добычи в реках и морях за период 1990 — 2020 гг. достиг 609 % со средним темпом роста в 6,7 % в год [3].

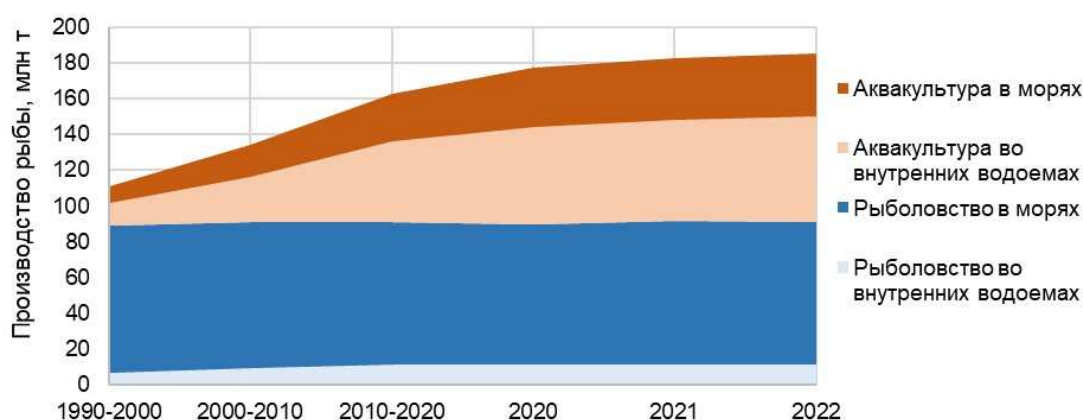


Рис. 1. Динамика роста промысла и производства рыбы за последние десятилетия [2]

В соответствии со стратегией развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 г. для достижения целевых показателей по годовому производству 618 т продукции товарной аквакультуры, включая посадочный материал, необходимо достичь темпов ежегодного увеличения производства, равных приблизительно 10 %. При этом необходимо отметить, что темпы и масштабы развития товарной аквакультуры в России в настоящее время отстают от уровня лидирующих в данном направлении государств. Значительная часть отечественного производства приходится на карповые и лососевые виды рыб, однако российская индустрия аквакультуры испытывает по перспективным объектам товарного рыбоводства затруднения в поставках высокопродуктивного рыбопосадочного материала, высокоэффективных комбикормов, современных средств диагностики, профилактики и лечения заболеваний объектов аквакультуры, а также специальной техники и оборудования для выращивания.

В настоящий момент специалисты DNV прогнозируют дальнейший рост производства выращиваемой рыбы [4], при этом отмечая, что он замедляется из-за уменьшения количества прибрежных акваторий, лицензированных для разведения рыбы, роста заболеваемости выращиваемой рыбы и противодействия

общественных организаций по защите окружающей среды. Для выращивания рыбы используют приспособления различной степени сложности: от садков — сетей с каркасом (рис. 2а) до плавучих офшорных рыбоводных ферм (далее — ОРФ). В настоящий момент большинство выращиваемой рыбы производится на прибрежных рыбофермах в плавучих садках. Вблизи побережья рыбофермы садкового типа защищены от неблагоприятных погодных условий и удобны в части кормления, хранения и переработки рыбы, электроснабжения, технического обслуживания, безопасности эксплуатации, легкого доступа персонала.

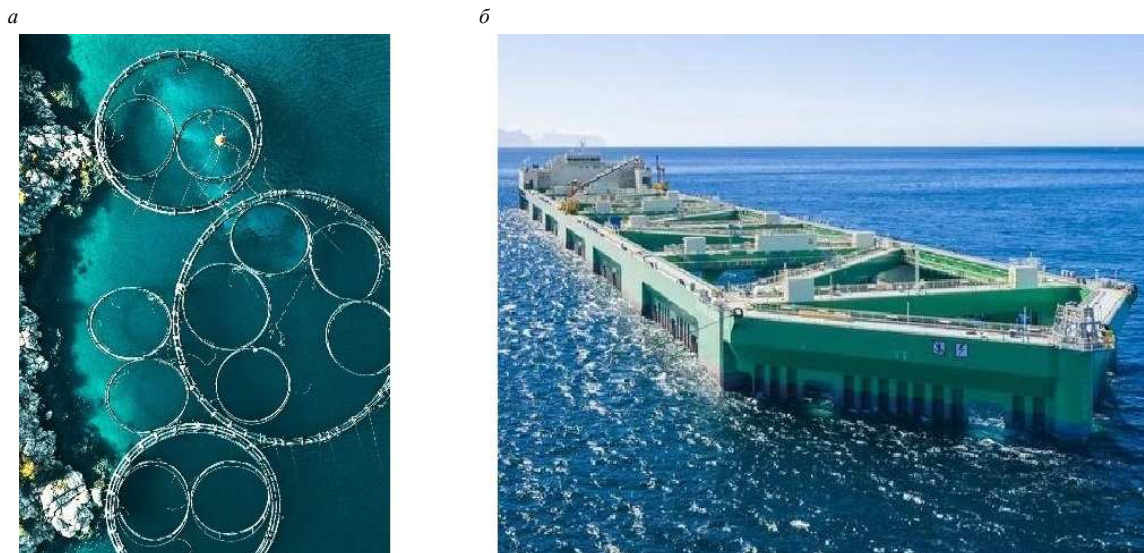


Рис. 2. Приспособления для производства рыбы и морепродуктов: а — прибрежные садки [2], б — офшорная рыбоводная ферма

В связи с растущим спросом на высокие производственные показатели и экономически эффективную эксплуатацию рыбных хозяйств большинство пригодных прибрежных акваторий уже полностью освоены, и рыбные хозяйства садкового типа достигли максимума производительности [5]. Нынешняя практика прибрежного разведения рыбы привела к конфликтам с местными сообществами и природоохранными организациями [6]. Критика, высказываемая в адрес прибрежного рыбоводства, заключается в ухудшении состояния окружающей среды из-за загрязнения воды, шумового загрязнения и ухудшения эстетического облика прибрежных акваторий. Усилилась конкуренция за общее морское пространство в прибрежных районах не только между рыбными хозяйствами, но и с другими видами морской хозяйственной деятельности: судоходством, туризмом и охраной природы — из-за случаев негативного влияния выращиваемой рыбы на местную подводную фауну [7].

В качестве решения этих проблем и в ответ на давление со стороны регулирующих органов рыбноводческие компании начали осваивать морские участки [8]. Однако морская среда с характерными для нее более жесткими ветро-волновыми условиями, большими глубинами и удаленностью от береговых источников энергии значительно влияет на конструкцию рыбноводных ферм, требуя большего количества обслуживающего персонала, появления на них экипажа и специального оборудования, что делает ОРФ сходной с судном и офшорной установкой. Целью данной статьи является анализ основных проблем, решаемых при проектировании ОРФ, имеющегося в настоящий момент мирового опыта проектирования этих сооружений и современной нормативной базы классификационных обществ (далее — КО), а также формирование перечня исходных требований на проектирование морских объектов этого типа.

1. ОСНОВНЫЕ УСЛОВИЯ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОФШОРНЫХ РЫБОВОДНЫХ ФЕРМ

Основные условия, влияющие на использование офшорных рыбоводных ферм, можно разделить на несколько групп в соответствии с источником их возникновения: географические (глубина, расстояние от берега, состояние дна, течения), погодные условия (ветер, волнение), проблемы эксплуатации ОРФ (обеспечение благоприятной для роста аквакультуры среды, столкновение судов, проникновение морских животных, отсутствие инфраструктуры и обеспечивающего флота), технические факторы, связанные с отсутствием опыта проектирования и эксплуатации (отсутствие полноценной нормативной базы проектирования).

1.1. Глубина моря в месте установки ОРФ напрямую влияет на капитальные затраты на ее проектирование (разведка рельефа дна) и изготовление, а также техническое обслуживание (водолазные работы в случае выхода из строя рыбосодержащих садков или другого подводного оборудования). Длина якорных канатов для ОРФ в три-пять раз превышает глубину в месте установки, что негативно влияет на затраты на якорную и швартовую системы. Большая глубина может негативно сказываться на производительности установки, так как скорость роста рыбы зависит от температуры, освещенности воды и степени насыщения ее кислородом. При этом исследователи [1] отмечают и положительные особенности: большая глубина позволяет создавать садки для выращивания рыбы более крупного размера, а очищение объемов с рыбой от продуктов ее жизнедеятельности происходит эффективнее.

1.2. Расстояние от берега. Офшорная ферма для разведения морепродуктов — это один из звеньев в цепочке организации выращивания рыбной продукции. Например, для лосося эта цепочка представляет разведение мальков (смолта) на специальных смолтовых заводах на суше, доставку их в садки для дальнейшего выращивания, затем обратную доставку продукции для переработки и реализации (рис. 3). Таким образом, увеличение расстояния от берега негативно сказывается на всех логистических составляющих этого процесса.



Рис. 3. Цепочка производства рыбы и морепродуктов [9]

1.3. Состояние дна в месте установки ОРФ значительным образом влияет на якорную систему ОРФ. Необходим детальный анализ морского дна для определения подходящего метода якорения. Например, традиционное якорное раскрепление (рис. 4а) или мертвое якорение (рис. 4б) подходит для участков морского дна с достаточно глубоким слоем осадочных отложений. Если морское дно каменистое, лучшим методом удержания ОРФ является якорение бурением при помощи анкерных свай.

1.4. Течение. Хотя течение необходимо для выращивания рыбы в садках для восполнения насыщенной кислородом воды и удаления органических отходов, слишком быстрые течения могут привести к пагубному воздействию как на конструкцию ОРФ, так и на продукцию. Максимальные нагрузки на сети в большинстве случаев вызваны течением, а не волнами. В случае садка, образованного гибкими кольцевыми ограждениями (сетями), горизонтальное сопротивление, создаваемое течением, может значительно уменьшить его внутренний объем. Исследователи [10] провели экспериментальные испытания и наблюдали значительное уменьшение объема садка с увеличением скорости течения, как показано на рис. 5.

В ходе экспериментов уменьшение объема садка для рыбы составило до 30 % при скорости течения более 0,6 м/с. Более того, при чрезмерном течении рыба может тратить слишком много энергии на плавание, а также страдать от потерь корма. На практике скорости течения в диапазоне от 0,1 м/с до 0,6 м/с были признаны удовлетворительными для разведения лососевых рыб.

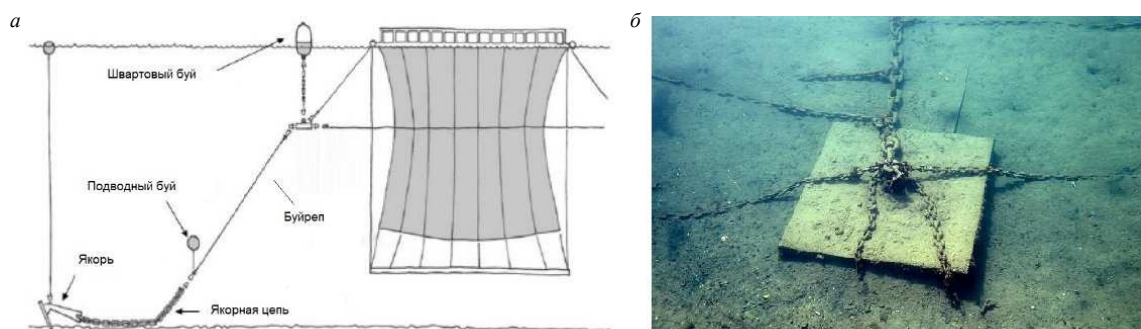


Рис. 4. Варианты якорения ОРФ: а — традиционная якорная система с швартовым бумом, буйрепом и якорем Холла; б — при помощи мертвого якоря

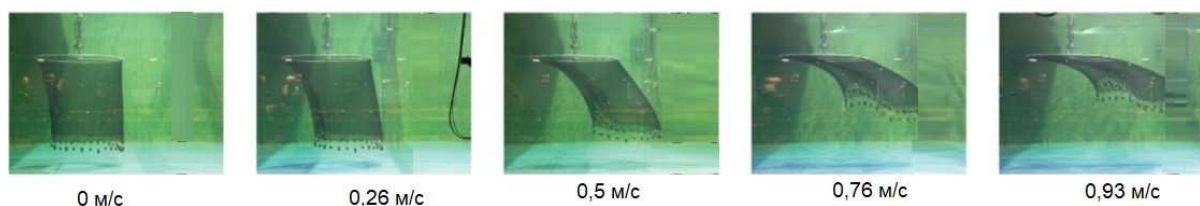


Рис. 5. Результаты экспериментального исследования влияния скорости течения на форму садка для разведения рыбы [10]

1.5. Волнение. Величина интенсивности волнения на выбранной акватории оказывает сильное влияние на выращиваемые виды рыб. На те виды, естественная среда обитания которых находится в защищенных от волнения местах, сильное волнение действует пагубно. Хотя рыба может погружаться на большие глубины, где волнение менее заметно, она все же предпочитает находиться вблизи поверхности воды, чтобы получать солнечный свет, кислород, более низкое гидростатическое давление воды, питательные вещества/планктон и поверхностный воздух, которые необходимы рыбам с плавательным пузырем. Более того, чрезмерное волнение может повредить конструкцию ОРФ. Современные концепции борьбы с излишним волнообразованием сводятся к созданию гибкой конструкции внутри ОРФ (кольцевого барьера) [11], которая перемещается вместе с волнами и частично гасит их энергию; погружению частей или всей конструкции под воду целиком; изменению состояния окружающей среды за счет использования плавучих барьеров/волнорезов или укрепления конструкции, чтобы противостоять действию волн (рис. 6).

1.6. Столкновение судов. Крупные ОРФ подвержены столкновению с судами, в том числе вспомогательными (рис. 7а). Инциденты, связанные с навалом судов на ОРФ, могут привести не только к повреждениям, но и к массовой потере рыбы, которая может поставить под угрозу биологическую безопасность и прибыльность бизнеса. Для защиты рыбоводных хозяйств от подобных столкновений судов используются швартовые буй для вспомогательных судов, а также системы динамического позиционирования на самих судах.

1.7. Проникновение морских животных. ОРФ должны быть спроектированы таким образом, чтобы избежать проникновения морских млекопитающих, акул и других морских хищников (рис. 7б). Данная проблема актуальна для ОРФ с гибкими (сетчатыми) ограждениями, поэтому применяются акустические системы отпугивания, более прочные материалы сети, а также садки с двойными или тройными сетями.

1.8. Отсутствие инфраструктуры и обеспечивающего флота. Несмотря на то, что в настоящий момент уже реализованы новые конструкции рыбных загонов, предназначенные для работы в офшорных зонах (рис. 8 — 11), мировой флот судов для офшорного рыбоводства пока недостаточен ни по количеству, ни по своим характеристикам. При этом в настоящий момент не существует международного кодекса практики для судов аквакультуры, работающих в офшорных зонах. Несмотря на то, что работа судов обеспечивающего ОРФ флота схожа с условиями работы судов, обеспечивающих установку и обслуживание ветрогенераторов [14] с характерными для них требованиями к экологичности энергетической установки, в силу особенностей доставляемых грузов (малька, корма и/или взрослых особей) использование существующих на рынке судов в зонах контроля выбросов сопряжено с затратами на оплату выбросов, что требует постройки новых судов, использующих топливо с низким углеродным следом WtW, например биотопливо, или полностью электрическую энергетическую установку [15].

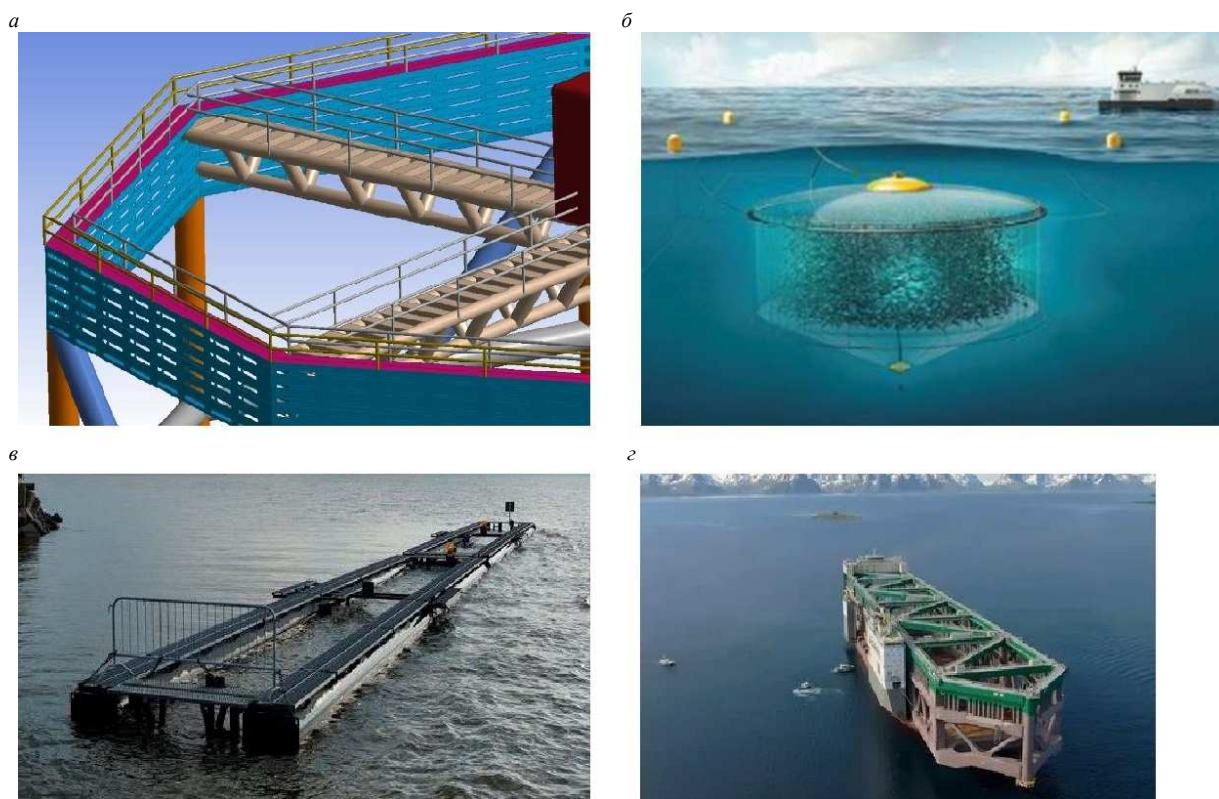


Рис. 6. Методы борьбы с пагубным воздействием волн: а — гибкая конструкция ОРФ — кольцевой барьер; б — погружной (подводный) ОРФ Atlantis; в — плавучие волнорезы; з — конструкция ОРФ судового типа

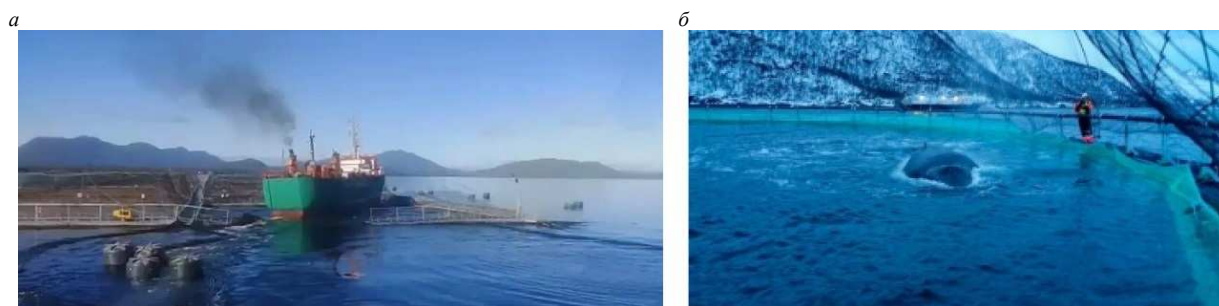


Рис. 7. Навал обеспечивающего судна на ОРФ в Чили в 2019 г. (а) [12]; проникновение кита в ОРФ (Норвегия) [13] (б)

1.9. Отсутствие опыта проектирования и эксплуатации ОРФ сводится к отсутствию полноценной нормативной базы проектирования. В отличие от прибрежных конструкций, которые совершенствовались десятилетиями, большинство конструкций ОРФ разработаны недавно и находятся в стадии концептуальных проектов. По этой причине имеется мало данных об их долговечности, методах технического обслуживания и ремонта, а также о производительности и качестве получаемой продукции. Таким образом, существует много особенностей, связанных с новыми конструкциями ОРФ, в частности подводной конструкции. Рассмотрим их подробнее.

2. АНАЛИЗ ПРОЕКТОВ СУЩЕСТВУЮЩИХ ОФШОРНЫХ РЫБОВОДНЫХ ФЕРМ

2.1. Модифицированные гибкие кольцевые садки состоят из плавающих труб, которые могут быть собраны различными способами для образования кольцеобразной формы. Самый известный пример — существующая ОРФ Tubenet (рис. 8а): здесь трубы удерживаются вместе с помощью ряда кронштейнов с опорами и распределены по всему периметру для поддержания рыболовной сети. Рыба выращивается на глубине от 14 м, что защищает ее от воздействия сильных волн. Кормушка расположена на глубине 13 м. Имеется система подачи воздуха в воду для насыщения им воды. Защита от птиц обеспечивается сеткой сверху. Диаметр внутреннего цилиндра равен 60 м, высота 14 м. Диаметр внешнего цилиндра равен примерно 120 м, а примерная высота составляет 28 м.

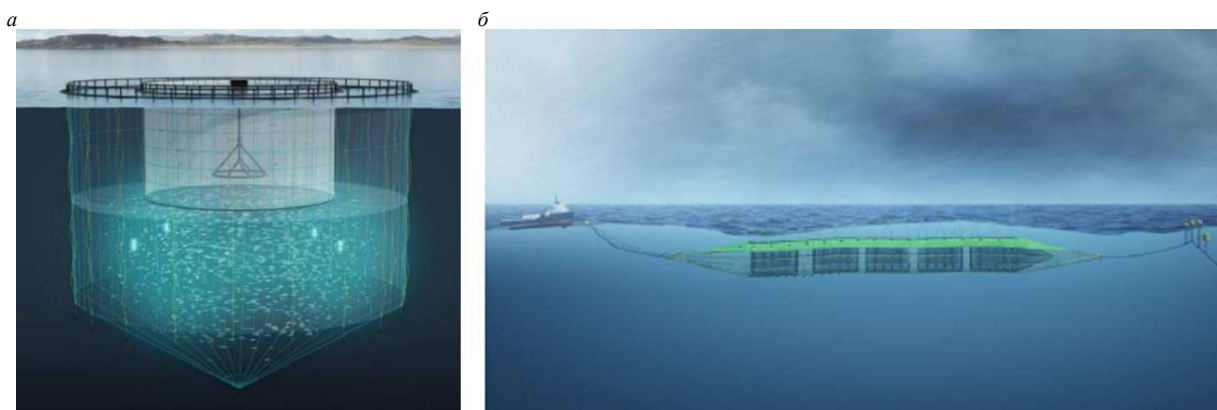


Рис. 8. ОРФ Tubenet (гибкий кольцевой садок) (а) [11]; ОРФ Giant Offshore (б)

Преимущества и недостатки модифицированных гибких кольцевых садков (рис. 8а) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Преимущества, недостатки и применение на ОРФ гибких кольцевых садков

№ п/п	Преимущества	Недостатки	Опыт применения
1	Высокая и продолжительная устойчивость к волновому воздействию (> 10 лет)	Проблемы уменьшения садка из-за деформации сети (рис. 5)	Могут переносить штормы со значительной высотой волны (≈10 м)
2	Высокая устойчивость к износу, атмосферным воздействиям и биообрастанию	Проблемы перекручивания и поворота опор	Возможны модификации после установки
3	Могут иметь различное исполнение и относительно дешевы	Малая площадь и неустойчивость переходов для обслуживающего персонала	Малое количество эмпирических и теоретических данных о долговечности
4	Изготавливаются на суше и буксируются судами на место установки	Сложность с размещением системы питания из-за ограниченного пространства на ферме	

2.2. Погружные садки опускаются на расчетную глубину, которая считается безопасной с точки зрения волнения. Для технического обслуживания и сбора рыбы садки поднимаются на поверхность. Самые известные примеры проектов: ОРФ Atlantis (рис. 8а), Giant Offshore (рис. 9а), AquaPod, NSENGI fish pen (рис. 9б).

На погружной садок Atlantis (рис. 8а) диаметром 160 м корм доставляют с помощью судна снабжения. Погружной садок Giant Offshore, изготовленный из гибкого и прочного материала, имеет цилиндрическую форму конструкции с заостренными оконечностями, центральная часть которой оснащена пятью садками. Длина 500 м, центральная часть длиной 300 м и диаметром 40 м. Объем садков 290 000 м³.

Садок AquaPod (рис. 9а) сферической формы диаметром 21 м расположен в 13 км от берега, на глубине 45 м и выдерживает волны высотой до 10 м. Конструкция изготовлена из переработанного полиэтилена с армированным стекловолокном. Считается, что он полностью защищен от хищников и утечки рыбы.

Садок NSENGI fish pen (рис. 9б) Рыбоводная ферма обслуживается самоподъемной платформой, на которой расположены оборудование и хранилище для корма. Располагается в 3 км от берега на глубине 60 м и рассчитан для работы в условиях волн от 7 до 9 м. Объем каждого загона составляет 50 000 м³.

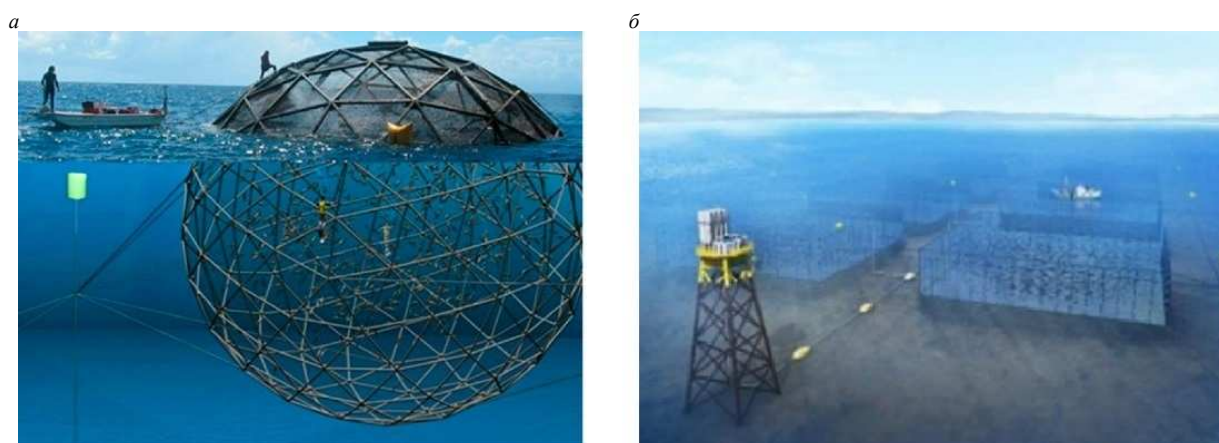


Рис. 9. Погружной садок AquaPod (гибкий кольцевой садок) (а) [11]; ОПФ NSENGI fish pen (б)

Преимущества и недостатки погружных садков представлены в табл. 2.

Таблица 2

Преимущества и недостатки ОПФ на основе погружных садков

№ п/п	Преимущества	Недостатки
1	Могут управляться дистанционно	Трудно обнаруживаемы судами (не видны)
2	Хорошо защищены от непогоды	Сложны в эксплуатации
3	Прочность конструкции может быть ниже, чем у надводных ОПФ	Могут быть дороже в эксплуатации, чем другие виды садков

2.3. Системы с открытыми садками — наиболее распространенные и, несмотря на большие габариты, легкие конструкции. Они обладают значительным коэффициентом демпфирования, благодаря чему имеют преимущества перед другими видами конструкций, так как вибрации гасятся более эффективно. Конструкции бывают гибкого (деформированного) типа и жесткого (прочного) типа, который чаще всего используется для обеспечения работоспособности садка на сильном волнении и течении при сохранении его достаточного объема. Самые известные примеры проектов и эксплуатирующихся ОПФ (рис. 10): Ocean Farm 1, Smart Fish Farm, Navfarm 1, Zhenyu 1, Viewpoint Seafarm, Spider cage, De Mass SSFF150 pen, Impact-9 submersible salmon pen.

Открытая ОПФ Ocean Farm 1 конструктивно схожа с плавучей офшорной платформой (добычной, разведывательной), способной работать на глубинах от 100 до 300 м, состоит из понтонов, рамы и швартовых систем. Подходит для работы даже в арктических условиях. Высота 68 м, осадка 43 м, диаметр 110 м, объем 250 000 м³.

Открытая ОПФ Smart Fish Farm представляет собой модифицированную версию Ocean Farm 1, которая считается передовым производственным объектом. Ее производительность в два раза выше, чем у Ocean Farm 1, благодаря не только большим размерам, но и высокой степени автоматизации. Диаметр 160 м, высота 70 м.

Открытая ОПФ Navfarm 1 представляет собой самую длинную рыбоводную ферму в мире, она состоит из стального каркаса и шести загонов, изготовленных из полиэтилена высокой прочности. Способна выдерживать высоту волны более 10 м. Подача электроэнергии с берега происходит с помощью подводного кабеля длиной 7 км. Судно имеет одноточечную систему швартовки, чтобы ОПФ могла вращаться вокруг всей оси под действием сил ветра, волнения и течений. Длина Navfarm 1 составляет 385 м, ширина 59,5 м, осадка 37,75 м (эксплуатационная 30,7 м).

Zhenyu 1 состоит из плавучего корпуса, в котором заключен веретенообразный каркас и механизм для его вращения. Вращение необходимо для того, чтобы бороться с биообрастанием. Для подачи энергии используется ветряная турбина.

Viewpoint Seafarm состоит из полупогружной платформы и четырех плавучих сетчатых садков, соединенных шарнирной системой, способной выдерживать высоту волны 11 м.

Spider cage оснащена специальным кольцевым ограждением, которое предназначено для защиты загона от тяжелых морских условий. Может выдерживать высоту волны 11 м. Производит 3400 т рыбы в год. Диаметр ограждения 100 м. Объем 100 000 м³.

Ocean Farm 1



Smart Fish Farm



Havfarm 1



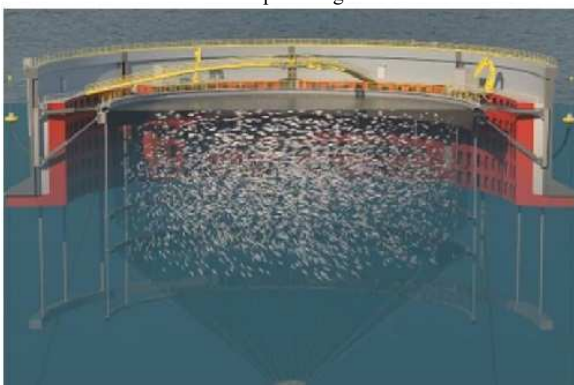
Zhenyu 1



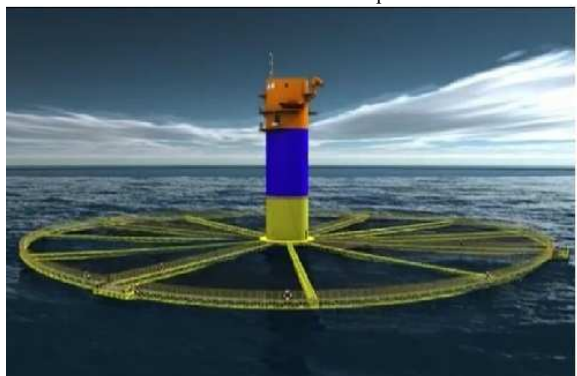
Viewpoint Seafarm



Spider cage



De Mass SSFF150 pen



Impact-9 submersible salmon pen

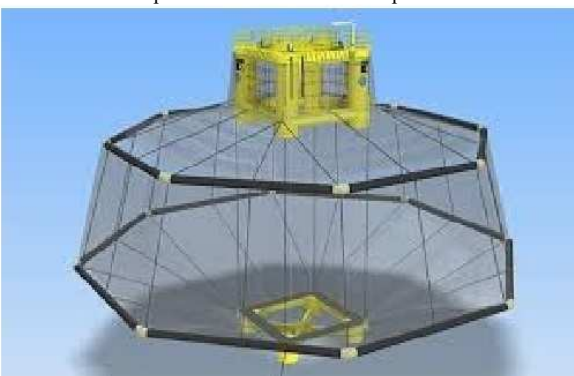


Рис. 10. Системы с открытыми садками

De Mass SSFF150 пен защищена от штормов благодаря погружению в воду. В центральной башне размещаются машинные помещения, хранилище кормов и жилые помещения для операторов. Диаметр 139 м, высота 12 м.

Impact-9 submersible salmon pen может выдерживать штормы из-за инновационной гибкой конструкции и эксплуатироваться на глубинах свыше 60 м. Производительность 3000 т лосося в год. Прочная центральная конструкция является безопасным местом работы и хранилищем для кормов и хозяйственного оборудования. Сети у основания оснащены надувными воротниками (для гибкости системы и избегания коррозии). Может эксплуатироваться в ледовых условиях.

Преимущества и недостатки открытых садков (рис. 10) представлены в табл. 3.

Таблица 3

Преимущества и недостатки ОРФ на основе открытых садков

№ п/п	Преимущества	Недостатки
1	Стабильная работа	Необходимость в громоздких и тяжелых конструкциях
2	Потенциал для автоматизации кормления и сбора готовой рыбы	Требует дорогостоящей буксировки на место эксплуатации
3	Строительство и ремонт объектов может быть выполнен на верфях	Конструкция может разрушиться в экстремальных условиях
4	Относительно небольшие вертикальные колебания (перемещения) из-за большой массы	Требует высоких капитальных затрат

2.4. Системы с закрытыми садками представляют собой водоизмещающие суда с металлическим или бетонным корпусом, плавучесть которых обеспечивается достаточным надводным бортом, запасом водоизмещения и остойчивости. Внутри корпуса организованы садки, вода в которых поступает извне: фильтрация и насыщение воды кислородом происходит на борту судна. Также может использоваться система очистки балластных вод. Чаще всего эти фермы используются в благоприятных водах, преимущественно у побережья. Чтобы использовать их в открытом море с более сильными волнами и течениями, необходимо учитывать влияние слошинга воды в садках на остойчивость и прочность конструкции. Самые известные примеры проектов и эксплуатирующихся ОРФ (рис. 11): Fish farm egg, Neptun, Salmon Home 1, Eco-Ark, Marine Donut, Stadion Laks, Preline, FishGLOBE.

Закрытая ОРФ Fish farm egg представляет полностью закрытую конструкцию овальной формы. Воду забирают на глубине 17 м и более и выводят на глубину 3 — 6 м, создавая циркуляцию и постоянный уровень кислорода. Лишь 10 % высоты конструкции находится выше поверхности воды.

Резервуар ОРФ Neptun изготовлен из полимерных материалов, армированных стекловолокном, и оснащен входными и выходными отверстиями для циркуляции воды. Рассчитан на скорость ветра 30 м/с и течение до 1 м/с. Расчетный срок службы 25 лет. Внутренний диаметр 40 м, высота 22 м, объем 21 000 м³.

Резервуар ОРФ Salmon Home 1 имеет форму цилиндра и изготовлен из бетона. Уровень кислорода в воде поддерживается автоматически. Внутренний диаметр 14,8 м, внешний диаметр 16,5 м, высота 6 м, объем 1000 м³.

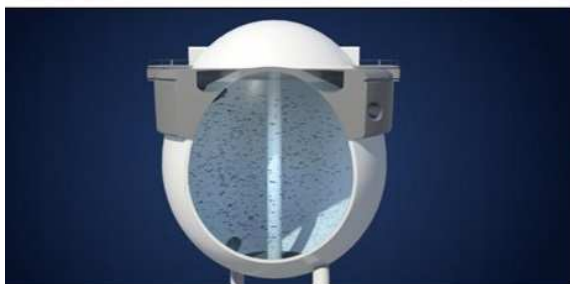
Резервуар ОРФ Eco-Ark состоит из четырех резервуаров, может производить до 166 т рыбы в год. Спроектирован для работы при скорости ветра 15 м/с, высоте волн 0,5 м, скорости течения 1,2 м/с, глубине 10 м. Длина 25 м, вес 5300 т.

Marine Donut представляет собой закольцованную трубу из полиэтилена высокой плотности. Конструкция должна выдерживать волну высотой 3 м. Вода поступает через шесть впускных патрубков и непрерывно циркулирует внутри.

Stadion Laks представляет собой резервуар, изготовленный из железобетона. Вода подается с глубины не менее 20 м. Объем 38 500 м³. Длина 117 м, ширина 39 м.

FishGLOBE имеет цилиндрическую форму. Впускные и выпускные патрубки вместе с цилиндром образуют жесткую конструкцию. Установка выдерживает волны высотой до 2,5 м и течение до 1 м/с. Высота 35 м, объем 30 000 м³.

Fish farm egg



Neptun



Salmon Home 1



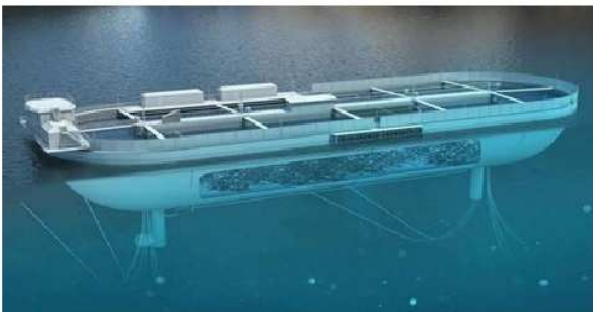
Eco-Ark



Marine Donut



Stadion Laks



Preline



FishGLOBE



Рис. 11. Системы с закрытыми садками

Преимущества и недостатки закрытых садков (рис. 11) представлены в табл. 4.

Таблица 4

Преимущества и недостатки ОРФ на основе закрытых садков		
№ п/п	Преимущества	Недостатки
1	Есть контроль качества воды в садках, поэтому вода может быть постоянно дезинфицирована для очищения патогенных микроорганизмов	Требуется система обеспечения электроэнергией для расположения на морских участках
2	Внешние воздействия, такие как цветение водорослей, больше не являются проблемой	Требуются значительные затраты для постройки и оборудования
3	Органические отходы могут быть удалены с помощью биофильтрационной системы перед сбросом воды обратно в море	Предъявляются более строгие требования к управлению, мониторингу и постороннему вмешательству
4	Полностью устраняется угроза хищников (акулы, тюлени и т.д.)	
5	Достигается более высокий уровень производства, чем у системы с открытыми сетями	

3. НОРМАТИВНАЯ БАЗА СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОФШОРНЫХ РЫБОВОДНЫХ ФЕРМ

Определение термина «офшорный» может принимать различную форму в зависимости от заинтересованной стороны — судовладельца, законодателя, представителя классификационного общества, государственного служащего или исследователя. Для рыбопроизводителя «офшорный» означает сочетание нескольких параметров, включающих погодные условия, батиметрию дна, удаленность от берега, используемые на ОРФ технологии (например, обеспечивающие автоматизацию всех или нескольких процессов выращивания). Некоторые зарубежные исследователи вкладывают в термин «офшорный» значения «незащищенный» (exposed), «удаленный» (remote) и «энергетически нагруженный» (high energy), что характеризует основные особенности этих объектов [16].

В исследовании [17] определены следующие типы рыбоводческих хозяйств (табл. 5) и их основные страны-производители.

Таблица 5

Типы рыбоводческих хозяйств			
Параметр	Наземные	Прибрежные	Морские
Местонахождение	< 500 м от берега < 10 м глубина	от 500 м до 3 км от берега глубина от 10 м до 50 м	> 3 км от берега > 50 м глубина Континентальный шельф
Внешние условия	Высота волны < 1 м Прибрежные ветры Прибрежное волнение Сильные приливно-отливные течения	Высота волны от 3 до 4 м Прибрежные ветры Местное волнение Слабые приливно-отливные течения	Высота волны до 5 м Океанские ветры Морское волнение Приливно-отливные течения отсутствуют
Акватория (воды)	Национальные	Национальные	Национальные/международные
Производители	КНР, Чили, Норвегия	Чили, Норвегия	США, Испания (Канарские о-ва)

На основе исследования [17] авторы [1] предлагают определение: ОРФ — это объект, спроектированный и построенный таким образом, чтобы его можно было безопасно и эффективно эксплуатировать в следующих условиях:

- на расстоянии не менее 3 км мористее береговой линии, но в пределах государственной исключительной экономической зоны (до 370,4 км);
- на глубине, равной или превышающей 50 м;
- при скорости течения от 0,1 м/с до 1 м/с;
- при высоте волн, превышающей 3 м.

Классификационные общества (КО), в свою очередь, подразделяют такие объекты по конструктивному типу и обитаемости (ABS) или только по конструктивному типу (DNV, BV). Например, ABS в своих правилах [18] вводит в символе класса нотацию «обитаемая/необитаемая» (manned/unmanned), а также разделяет ОРФ по ее архитектурно-конструктивному типу: сетчатого типа (spar-type), колонного типа (column-stabilized type), судового типа (ship shape) и неплавучего типа (un-buoyant).

В правилах DNV [19] содержатся определения архитектурно-конструктивного типа: с большой осадкой (deep draught type), колонного (column-stabilized type), судового (ship shaped type), самоподъемного (self-elevating type) и цилиндрического (cylindrical type).

В правилах BV [20] и [21] ОРФ классифицируются как баржа (barge or converted ship), понтон (rigid pontoon), погружная клетка (submersible cage unit), сочлененная установка (articulated unit), водонепроницаемый понтон (watertight cage unit), установка с опорой на дно (bottom-resting unit), гибкий садок (flexible cage unit), модифицируемый гибкий садок (modifiable cage unit) и балластируемая установка (ballastable unit). Подобное разнообразие словесных характеристик может быть объяснено значительным количеством существующих проектов ОРФ, создаваемых одновременно под воздействием многих внешних факторов, в первую очередь видом выращиваемой аквакультуры и особенностями места размещения ОРФ.

В результате существующие ОРФ сильно отличаются друг от друга, а значительные отличия во внешних условиях (ветро-волновых, температурных, глубине моря в месте размещения установки) не позволяют сконцентрировать весь опыт проектирования в одном руководстве. Тем не менее исследователи [22] проанализировали имеющиеся правила КО в части требований к ОРФ и определили степень охвата Правилами различных типов ОРФ (рис. 12).

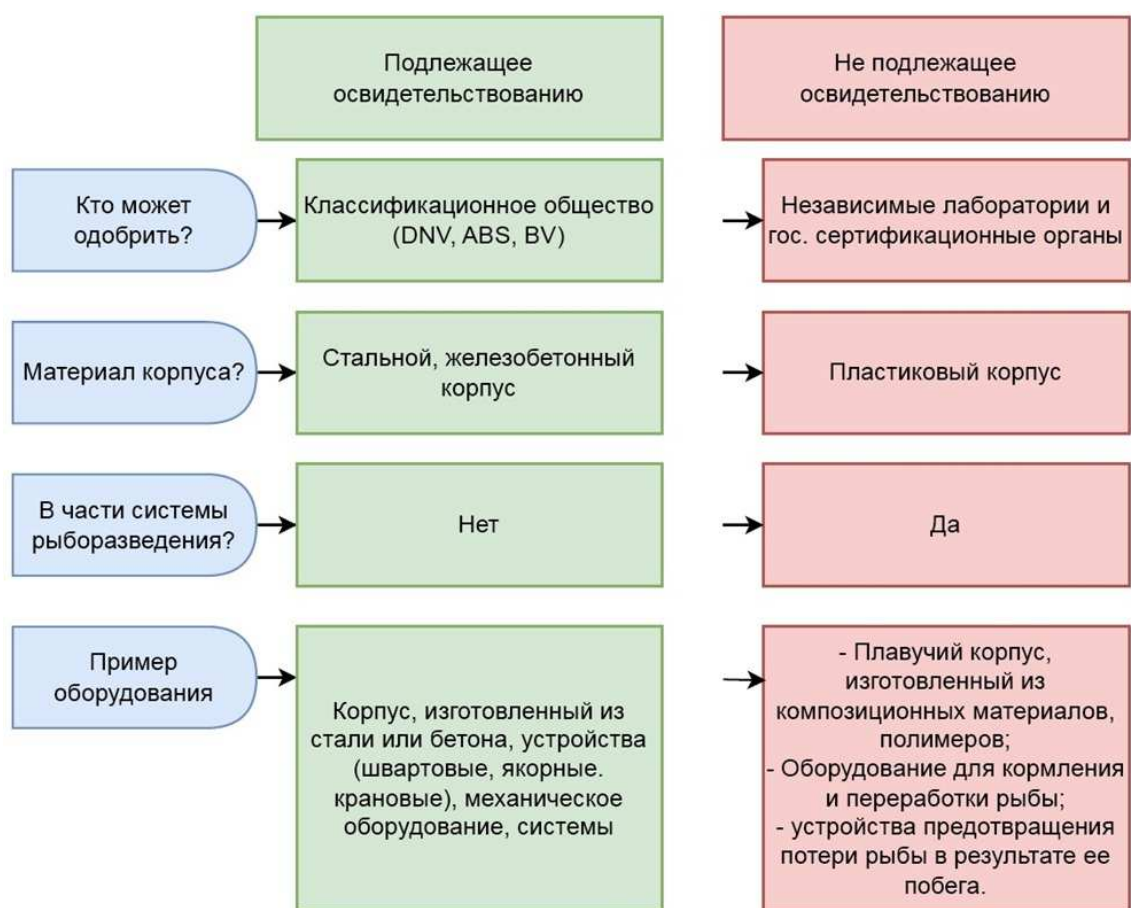


Рис. 12. Степень охвата правил различных КО к системам с закрытыми садками

Освидетельствование плавучих рыбоводческих ферм КО является добровольным, однако компании зачастую запрашивают одобрения проекта у КО для того, чтобы заручиться поддержкой у страховщиков, контрагентов и потребителей.

К настоящему времени Det Norske Veritas (DNV), American Bureau of Shipping (ABS) и Bureau Veritas (BV) ввели собственные правила сертификации и услуги освидетельствования морских рыбоводных ферм (установок).

1. ABS, Руководство по постройке и классификации объектов аквакультуры (Guide for building and classing, aquaculture installations) [18].

2. ABS-FPI, Правила постройки и классификации плавучих производственных установок (Rules for building and classing, floating production installations) [23].

3. ABS-OI, Правила постройки и классификации сооружений на морских установках (Rules for building and classing, facilities on offshore installations) [24].

4. ABS, Якорные системы удержания (Position mooring systems) [25].

5. DNV-RU-OU-0503, Правила классификации офшорных рыбоводных установок и агрегатов (Rules for classification, offshore fish farming units and installations) [26].

6. DNV-ST-C502, Оффшорные бетонные конструкции (Offshore concrete structures) [27].

7. DNV-OTG-24, Защита от утечки рыбы с морских рыбоводных ферм (Fish escape prevention from marine fish farms) [28].

8. DNV-OS-C101, Проектирование офшорных стальных конструкций, общие положения (Design of offshore steel structures, general) [29].

9. DNV-OS-C102, Морской стандарт для конструктивного проектирования морских судов (Offshore standard for structural design of offshore ships) [30].

10. DNV-OS-C103, Конструктивное проектирование узлов, стабилизированных на колонне (Structural design of column stabilised units) [31].

11. DNV-OS-C106, Конструктивное проектирование плавучих установок с большой осадкой (Structural design of deep draught floating units) [32].

12. DNV-OS-C201, Морской стандарт для проектирования конструкций офшорных объектов (Offshore standard for structure design of offshore units) [33].

13. DNV-RP-C205, Условия окружающей среды и внешние нагрузки (Environmental conditions and environmental loads) [34].

14. DNV-RP-F205, Глобальный анализ эксплуатационных характеристик глубоководных плавучих сооружений (Global performance analysis of deepwater floating structures) [35].

15. DNV-OS-E301, Морской стандарт для позиционной швартовки (Offshore standard for position mooring) [36].

Что касается BV, основными правилами являются Правила классификации и сертификации рыбоводных ферм (Rules for classification and certification of fish farms) [37], которые действуют для установок в прибрежных водах. В случае если рыбоводческое хозяйство находится в суровых погодных условиях, применяются следующие правила:

1) Правила и положения классификации стальных судов — применимы к рыбоводным хозяйствам в форме судов (Rules and regulations for the classification of steel ships) [38];

2) Правила классификации офшорных объектов — применимы к полупогружным рыбоводным хозяйствам или рыбоводным фермам, использующим методы морского промысла (Rules for the classification of offshore units) [39].

В работе [22] показано, что основными критериями проектирования морских загонов для рыбы являются расчетный срок службы, расчетные нагрузки от волн, течения и ветра, комбинация внешних нагрузок для проектирования плавучих средств, сетей и опорных систем, а также систем швартовки. Анализ и оценка эффективности ОРФ сводится к выполнению гидростатического анализа, гидродинамического (в частотной и временной областях), анализа системы швартовки.

В части расчетного срока службы КО, имеющие правила по проектированию ОРФ, сходятся во мнении, что для стальных ОРФ должны предъявляться требования, аналогичные назначению срока службы морским судам со стальным корпусом в части назначения толщин и надбавок на коррозию. В правилах ABS и DNV минимальный срок службы назначается равным 20 годам.

Правила ABS распространяются лишь на некоторые элементы ОРФ, такие как корпус, якорная система, фундаменты, механизмы, системы, которые не относятся к системам аквакультуры. При этом правила не распространяются на садки из полимеров, бетона и прочих подобных материалов, а также на оборудование для кормления и производства рыбы, хранения сырья и устройства для защиты от утечки рыбы. Аналогично правило DNV-RU-OU-0503 учитывает требования к корпусу с надстройкой, фундамент кранового оборудования, крепление вертолетной площадки и пр. В правилах ABS и DNV указано, что элементы ферм,

на которые не распространяются правила, должны оцениваться в соответствии с юрисдикцией местных органов (в России таким органом является Федеральное агентство по рыболовству). Правила классификации в основном охватывают конструкции из стали или металлических материалов, а сети не учитываются в правилах, за исключением случая, когда существует опасность, связанная со значительными техногенными нагрузками на конструкцию рыбоводного хозяйства.

Чтобы охватить те элементы ОРФ, которые не подпадают под перечисленные требования, существуют следующие национальные и международные стандарты:

1) Норвежский стандарт NS 9415, Требования к морским рыбоводным хозяйствам при проектировании, определении размеров, производстве, монтаже и эксплуатации (Marine fish farms requirements for design, dimensioning, production, installation, and operation), включая Норвежский стандарт NS 3472 Металлические конструкции — Правила проектирования (Steel structures — Design rules) [40];

2) Технический стандарт для шотландской аквакультуры (A technical standard for Scottish finfish aquaculture) [41];

3) Стандарт ISO 16488:2015. Морские рыбоводные фермы — открытый сетчатый садок и его эксплуатация (Marine finfish farms—open net cage-design and operation) [42].

В России в настоящий момент не разработаны аналогичные правила и стандарты. Единственный документ, который регулирует аквакультуру, это Федеральный закон от 02.07.2013 N 148-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Об аквакультуре (рыбоводстве) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [43]. Его целью является обеспечение производства рыбы и иной продукции аквакультуры, сохранение водных биологических ресурсов.

С учетом перечисленных особенностей ОРФ и необходимости их строительства таким образом, чтобы конструкция, оборудование и системы работали надежно, необходимо учитывать эксплуатационные параметры, включая природные особенности окружающей среды в местах предполагаемой эксплуатации ОРФ, оценивать возможность столкновения с судном, защищать аквакультуру от внедрения морских животных, обращать внимание на наличие инфраструктуры для офшорного рыбоводства, а также минимизировать влияние на морскую экологию. С учетом того, что в настоящее время существуют неопределенности в связи с недостаточным опытом проектирования и эксплуатации ОРФ в мировом масштабе, при разработке отечественных проектов ОРФ целесообразно проводить анализ рисков для выявления опасностей и снижения вероятности возникновения аварийных происшествий, а также уже на этапе предпроектных изысканий проводить консультации со специалистами КО, в случае строительства ОРФ под его техническим наблюдением, для согласования перечня нормативных документов и технических требований, которым должен отвечать проектируемый объект.

ВЫВОДЫ

В настоящей статье приведены и проанализированы проекты офшорных ферм для рыбоводства, краткие сведения об офшорной аквакультуре, преимущества и недостатки данного способа производства морепродуктов.

В работе рассмотрена нормативная база классификационных обществ по созданию и эксплуатации офшорных рыболовных ферм. Отмечается, что объем наблюдения КО не охватывает многие элементы ОРФ, в работоспособности которых в течение всего срока службы установки заинтересованы оператор и страховая компания. Для решения этой проблемы в части таких элементов, как оборудование для аквакультуры (кормления, переработки), сети, не применяемые в судостроении материалы корпуса (полимерные материалы), КО ориентируются на применимые действующие национальные и международные стандарты. Такая практика обусловлена широким разнообразием созданных в настоящий момент ОРФ, разительно отличающихся исполнением многих элементов, что, в свою очередь, обусловлено различными условиями эксплуатации ОРФ: глубинами в месте установки, расстоянием от берега, состоянием и качеством дна, силой и регулярностью течений и волнения. Это приводит к отсутствию единой базы проектирования ОРФ, однако в качестве основных его критериев необходимо выделить расчетный срок службы, расчетные нагрузки от волн, течения и ветра и их комбинации, влияющие на особенности проектирования плавучих средств, сетей и опорных систем, а также систем якорения и швартовки.

Несмотря на то, что в России существуют достаточно крупные рыбоводные фермы в Мурманской области и Карелии (выращивание форели и семги в садках) и переоборудованная плавучая мастерская во Владивостоке для выращивания морепродуктов, наличие этих примеров не позволяет сделать вывод о высоком уровне развития отечественной офшорной аквакультуры на данном этапе. Однако с учетом

тенденции к увеличению объемов выращиваемой аквакультуры при разработке и внедрении новых типов сооружений рыбоводства целесообразно учитывать международные практики и привлекать экспертов классификационных обществ к оценке проектов установок для разведения рыбы и морепродуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ REFERENCES

1. Wang C.M. Offshore fish farming: Challenges and developments in fish pen designs / C.M. Wang, Yu. Chu, J. Baumeister, H. Zhang, D.S. Jeng, N. Abdussamie // *Global Blue Economy*. — Boca Raton: CRC Press, 2022. — P. 87 — 128. — DOI 10.1201/9781003184287-4.
2. ФАО. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры — 2024. «Голубая трансформация» в действии. — Рим, 2024. — DOI 10.4060/cd0683ru. = FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 — Blue Transformation in action. Rome, 2024. DOI 10.4060/cd0683en.
3. Марикультура. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.ruwiki.ru/wiki/Марикультура> (дата обращения 07.07.2025). = Mariculture. URL: <https://ru.ruwiki.ru/wiki/Марикультура> (accessed 07.07.2025). (In Russ.)
4. DNV Marine Aquaculture Forecast: Oceans' Future to 2050. — Høvik, Norway, 2021.
5. Stickney R.R. Impacts of cage and net-pen culture on water quality and benthic communities / R.R. Stickney // *Aquaculture and the Environment in the United States*. — U.S. Aquaculture Society: St Amant, LA, 2002. — P. 105 — 118.
6. Tidwell J.H. Aquaculture production systems / J.H. Tidwell. — Oxford: Wiley-Blackwell, 2012.
7. Verhoeven J.T.P. Temporal bacterial surveillance of salmon aquaculture sites indicates a long lasting benthic impact with minimal recovery / J.T.P. Verhoeven, F. Salvo, R. Knight, D. Hamoutene, S.C. Dufour // *Frontiers in Microbiology*. — 2018. — No. 9. — P. 3054.
8. Bjelland H.V. 2016. Exposed aquaculture in Norway / H.V. Bjelland, M. Fore, P. Lader, D. Kristiansen et al. // *Oceans 2015 — MTS/IEEE Washington*. — P. 1 — 10.
9. «Русская аквакультура» INARCTICA. Попробуй Арктику на вкус (Ч. 1). [Электронный ресурс] URL: <https://smart-lab.ru/blog/850673.php?nomobile=1> (дата обращения 07.07.2025). = Russian aquaculture. INARCTICA. Taste the Arctic (Pt. 1). URL: <https://smart-lab.ru/blog/850673.php?nomobile=1> (accessed 07.07.2025). (In Russ.)
10. Moe-Føre H. Structural response of high solidity net cage models in uniform flow / H. Moe-Føre, P.F. Lader, E. Lien, O.S. Hopperstad // *Journal of Fluids and Structures*. — 2016. — Vol. 65. — P. 180 — 195.
11. Chu Y.I. Design development of porous collar barrier for offshore floating fish cage against wave action, debris and predators / Y.I. Chu, C.M. Wang // *Aquacultural Engineering*. — 2020. — Vol. 92. — P. 102137.
12. Semapesca y Transmarko activan protocolos de acción por accidente en centro. 23.05.2019. [Электронный ресурс] URL: <https://www.salmonexpert.cl/investigacion/semapesca-y-transmarko-activan-protocolos-de-accion-por-accidente-en-centro/1368003> (дата обращения 07.07.2025).
13. Knøhlval i merd. 03.05.2019. [Электронный ресурс] URL: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Erfaringsbase/Knoelhval-i-merd> (дата обращения 07.07.2025).
14. Реуцкий А.С. Суда для постройки и обслуживания морских ветроэлектростанций / А.С. Реуцкий // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 79. — С. 112 — 123. — EDN SDGAXN. = Reutskii A.S. Ships for construction and maintenance of offshore wind farms. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 79. P. 112 — 123. EDN SDGAXN. (In Russ.)
15. Реуцкий А.С. Анализ положений руководящих принципов ИМО по оценке интенсивности выбросов парниковых газов на протяжении жизненного цикла для всех видов судового топлива / А.С. Реуцкий, В.К. Шурпак, С.А. Толмачев // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 79. — С. 14 — 25. — EDN FBBDJV. = Reutskii A.S., Shurpyak V.K., Tolmachev S.A. Analysis of the IMO guidelines for estimating the intensity of greenhouse gas emissions over the life cycle for all types of marine fuels. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 79. P. 14 — 25. EDN FBBDJV. (In Russ.)
16. Morro B. Offshore aquaculture of finfish: Big expectations at sea / B. Morro, S.R. Planellas, K. Davidson, T.P. Adams et al. // *Reviews in Aquaculture*. — 2021. — Vol. 14, No. 2. — P. 791 — 815.
17. Holmer M. Environmental issues of fish farming in offshore waters: perspectives, concerns and research needs / M. Holmer // *Aquaculture Environment Interactions*. — 2010. — Vol. 1. — P. 57 — 70. — DOI 10.3354/aei00007.
18. ABS. Guide for Building and Classing, Aquaculture Installations. — Houston, TX, USA, 2020.
19. DNV-RU-OU-0503. Floating Fish Farming Units and Installations. — Høvik, Norway, 2017.
20. BV. NR467. Rules and Regulations for the Classification of Steel Ships. — Neuilly-sur-Seine, France, 2022.
21. BV. NR445 Rules for the Classification of Offshore Units. — Neuilly-sur-Seine, France, 2019.
22. Chu Y.-I. Offshore fish farms: A review of standards and guidelines for design and analysis / Y.-I. Chu, C.-M. Wang, H. Zhang, N. Abdussamie et al. // *Journal of Marine Science and Engineering*. — 2023. — Vol. 11, Issue 4. — P. 762. — DOI 10.3390/jmse11040762.
23. ABS. Rules for Building and Classing, Floating Production Installations. — Houston, TX, USA, 2021.
24. ABS. Guide for Building and Classing Facilities on Offshore Installations. — Houston, TX, USA, 2014.
25. ABS. Position Mooring System. — Houston, TX, USA, 2020.
26. DNV-RU-OU-0503. Offshore Fish Farming Units and Installations. — Høvik, Norway, 2017.
27. DNV-ST-C502. Offshore Concrete Structures. — Høvik, Norway, 2018.
28. DNV-OTG-24. Fish Escape Prevention from Marine Fish Farms. — Høvik, Norway, 2020.
29. DNV-OS-C101. Design of Offshore Steel Structures, General — LRFD Method. — Høvik, Norway, 2015.
30. DNV-OS-C102. Offshore Standard for Structural Design of Offshore Ships. — Høvik, Norway, 2015.
31. DNV-OS-C103. Structural Design of Column Stabilised Units (LRFD Method). — Høvik, Norway, 2018.
32. DNV-OS-C106. Structural Design of Deep Draught Floating Units (LRFD Method). — Høvik, Norway, 2015.
33. DNV-OS-C201. Structural Design of Offshore Units (WSD Method). — Høvik, Norway, 2017.
34. DNV-RP-C205. Environmental Conditions and Environmental Loads. — Høvik, Norway, 2010.
35. DNV-RP-F205. Global Performance Analysis of Deepwater Floating Structures. — Høvik, Norway, 2010.
36. DNV-OS-E301. Offshore Standard: Position Mooring. — Høvik, Norway, 2015.

37. BV. Rules for Classification and Certification of Fish Farms. — Neuilly-sur-Seine, France, 1994.
38. BV. NR467. Rules and Regulations for the Classification of Steel Ships. — Neuilly-sur-Seine, France, 2022.
39. BV. NR445. Rules for the Classification of Offshore Units. — Neuilly-sur-Seine, France, 2019.
40. NS 9415. Marine Fish Farms. Requirements for Design, Dimensioning, Production, Installation and Operation. — Skøyen, Norway, 2009.
41. The Scottish Government. A Technical Standard for Scottish Finfish Aquaculture. — Edinburgh, UK, 2015.
42. ISO 16488:2015. Marine finfish farms — Open net cage — Design and operation.
43. Федеральный закон «Об аквакультуре (рыбоводстве) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 02.07.2013 N 148-ФЗ (ред. от 25.12.2023). = Federal Law No. 148-FZ of July 2, 2013 'On Aquaculture (Fish Farming) and Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation' (as amended on 25-12-2023).