

УДК 656.61.052

DOI: 10.37890/jwt.vi83.596

## **Концептуальные основы математической формализации усталости судоводителей**

**С.В. Ермаков**

*ORCID: 0009-0009-7814-8877*

**П.А. Моисеев**

*ORCID: 0009-0003-7959-4824*

*Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия*

**Аннотация.** Усталость судоводителей, как и всех остальных членов экипажа – резонансная и одновременно нерешённая до сих пор проблема современного морского судоходства, следствием которой является снижение эффективности труда и увеличение вероятности морских аварий и инцидентов. В статье проанализированы некоторые частные и общие подходы к оценке и контролю усталости, представлены принципы математической формализации усталости судоводителей, обоснована классификация усталости, включающая в себя три вида усталости – краткосрочную, среднесрочную и долгосрочную, записаны функции усталости в общем виде. Каждая из функций содержит три категории аргументов: время, аргументы, влияющие только на конкретный вид усталости и аргументы, определяющие взаимосвязь видов усталости. В табличном виде приведено объяснение аргументов последней категории, определяющих принципиальное отличие предложенного способа формализации. Представленная концепция в результате своего развития может трансформироваться в полноценный метод управления усталостью судоводителей, учитывающий не только накопление усталости во время вахты вследствие недостаточности сна и отдыха, но и многие другие, в том числе долговременные, факторы усталости. Для обеспечения такого развития в заключение статьи сформулирован открытый перечень задач для продолжения исследования.

**Ключевые слова:** усталость, оценка и контроль, классификация, математическая формализация, функции усталости.

## **Conceptual basis for the mathematical formalization of navigator fatigue**

**Sergey V. Ermakov**

*ORCID: 0009-0009-7814-8877*

**Pavel A. Moiseev**

*ORCID: 0009-0003-7959-4824*

*Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia*

**Abstract.** Fatigue of navigators, as well as of all other crew members, is a resonant and at the same time still unresolved problem of modern maritime shipping, the consequence of which is a decrease in labor efficiency and an increase in the likelihood of maritime accidents and incidents. The article analyzes some private and general approaches to fatigue assessment and control, presents the principles of mathematical formalization of navigators' fatigue, substantiates the classification of fatigue, including three types of fatigue – short-term, medium-term and long-term, and records the fatigue functions in general. Each of the functions contains three categories of arguments: time, arguments affecting only a specific type of fatigue and arguments determining the relationship between types of fatigue. An explanation of the arguments of the last category, determining the fundamental difference of the proposed formalization method, is given in tabular form. The presented concept, as a

result of its development, can be transformed into a full-fledged method of fatigue management for navigators, considering not only the accumulation of fatigue during a watch due to insufficient sleep and rest, but also many other, including long-term, factors of fatigue. To ensure such development, an open list of tasks for continuing the research is formulated in the conclusion of the article.

**Keywords:** fatigue, assessment and control, classification, mathematical formalization, fatigue functions.

### **Введение**

Усталость – это многогранное, разноплановое явление, всегда влекущее за собой проблему или её угрозу. Так, усталость металла – ослабление структуры материала под воздействием циклических нагрузок. Естественно, что в настоящей работе интерес представляет усталость персонала морских судов и, в частности, судоводителей. Впрочем, следует заметить, что определение, данное для усталости металла, очень хорошо коррелирует с усталостью человека.

К симптомам усталости относятся: повышенная тревожность, снижение кратковременной памяти, замедление времени реакции, снижение эффективности работы, падение мотивации, снижение бдительности, повышенная вариабельность в выполнении работы, повышенное количество ошибок пропуска и пр.

Влияние усталости имеет несколько проявлений.

Во-первых, усталость приводит к снижению способности воспринимать и обрабатывать информацию и ухудшению памяти, а уставшие судоводители становятся более восприимчивы к ошибкам памяти, под которыми понимаются когнитивные искажения, связанные с влиянием физиологических и психологических факторов на содержание или воспроизведение ранее усвоенной информации.

Во-вторых, при выполнении сложных задач судоводитель выбирает стратегию с высокой степенью риска, так как её реализация, как правило, требует меньше усилий.

В-третьих, усталость влияет на способность судоводителя оперативно и грамотно принимать решения, связанные с обеспечением безопасности мореплавания.

Усталость вахтенных помощников капитана как одна из основных причин морских аварий подтверждается множеством отчётов о расследованиях и констатируется во многих исследованиях (например, в [1-3]).

Для иллюстрации проблемы усталости здесь будет вполне уместно обратиться к некоторым результатам интервьюирования авторами моряков.

Так, выпускник БГАРФ Х., призыв в своё время на государственную итоговую аттестацию будучи уже старпомом после месяца контракта, где он претерпел 26 (!) заходов. Думается, что количество часов отдыха и сна здесь было пренебрежимо мало.

Другой выпускник БГАРФ С., набирая ценз в должности матроса, участвовал в буксировочной операции у берегов Чили. Нарушив технику безопасности, он допустил то, что буксировочный трос обмотал ему ногу, буксир пошёл, опрокинул С. и потащил его в клюз. Своевременная реакция окружающих предотвратила более тяжкие последствия, чем множественные переломы ноги. С одной стороны, виноват С., с другой – для матроса момент буксировки пришёлся на начало третьих бессонных суток, в течении которых он выполнял свои функциональные обязанности.

И третий случай, который заслуживает внимания, касается исследования стрессоустойчивости судоводителей, которое проводили авторы несколько лет назад. Результат теста о низкой стрессоустойчивости один старший помощник прокомментировал примерно так: «У меня не может быть такого результата, потому что за рейс я проделываю огромный объём работы, сплю не более двух часов в сутки и живу практически на таблетках».

Конечно, всё это частные случаи, а, точнее, выборка из большой генеральной совокупности, но даже она подтверждает, что усталость моряка – неотъемлемая часть его работы, наличие которой крайне негативно сказывается на безопасности мореплавания во всех её аспектах.

Усталость моряков, системы её контроля и предупреждения являются предметом многих исследований и одним из ключевых объектов правового регулирования Международной морской организации (ИМО). Вместе с тем, проконтролировать фактическое исполнение всех требований и рекомендаций по предупреждению усталости, которые распространяются на судовые экипажи, практически невозможно [4]. При этом каких-либо эффективных инструментов оперативного (в том числе и дистанционного) мониторинга усталости членов экипажа до настоящего момента не предложено также, как и комплексных математических моделей усталости, учитывающих все значимые для её накопления факторы и кумулятивный эффект усталости, проявляющийся не только в некоторый краткосрочный период, а практически на протяжении всей карьеры судоводителя.

Таким образом, целью настоящего исследования является создание первичной (концептуальной) принципиальной базы для математической формализации усталости судоводителей.

### **Современная методология оценки и предотвращения усталости**

Стремление морской отрасли в борьбе с усталостью имеет несколько парадоксальный характер. Морские регуляторы, судовладельцы, профсоюзы постоянно декларируют, что усталость на борту – это обычное явление и необходимо приложить совместные усилия для решения этой проблемы. Одновременно с этим экипажи сокращаются (точнее, уже сокращены до минимума), а судоводительский состав постоянно отягощается всё большим количеством административных обязанностей, необходимостью вести немалое количество документов, причём связанных не только с движением груза, но и с так называемой «бумажной безопасностью».

Ситуация на первый взгляд видится тупиковой, а аварийность, связанная с усталостью моряков, в лучшем случае не будет увеличиваться. Одновременно исследования в области усталости моряков не статичны, а, наоборот, имеют достаточно интенсивный характер, а результаты этих исследований представленным большим количеством публикаций.

Так, в работе [5] описана математическая модель, построенная на методах теории вероятности и статистики и предназначенная для вероятностной оценки появления «усталостного» сбоя при несении специалистом ходовой вахты. Разработанный инструмент позиционируется авторами как математическая модель «накопленная усталость – эффект».

В статье [2] приведен не только анализ самого феномена «усталость», но и результаты опроса моряков по причинам усталости. Очевидно, что основными причинами названы сон, его низкое качество и недостаточное время на отдых. Эти причины выбрали 78, 75 и 76% моряков соответственно. Шум и вибрацию в качестве причины указали 64% респондентов. Больше половины опрошиваемых (57%) включили в число причин некачественное и однообразное питание, 42% – нарушение суточного ритма, 38% – стресс, а 36% – избыточные рабочие нагрузки.

В числе причин усталости были указаны и причины психологического характера. Так, 27% моряков считают, что усталость среди прочего провоцируется монотонностью и однообразием деятельности. У 22% респондентов катализатором усталости является тоска по близким, а для 19% опрошенных моряков детерминанта усталости – агрессивная морская среда.

Общепринятого определения усталости не существует. Обычно ее описывают через причину как некоторое состояние частичной или полной потери

работоспособности, возникающее в результате продолжительной физической или умственной работы, длительных периодов волнения, воздействия неблагоприятных условий окружающей среды или потери сна. Авторы [2] сформулировали свое определение усталости, представив её как «снижение эффективности выполнения профессиональной деятельности, ослабление работоспособности и производительности труда моряка, его физических и умственных способностей под воздействием чрезмерной нагрузки на судне, неполноценного отдыха, который следует за периодом умственной или физической активности»

Многие модели, созданные с целью управлению усталостью, увязывают в качестве аргументов сон, активность (бодрствование), усталость и эффективность выполнения задач. Так, ещё в конце прошлого века Стивен Хёрш (США) разработал простую гомеостатическую модель усталости, запрограммировал её и получил возможность постоянной индикации производительности. После ряда экспериментов по оценке взаимосвязи производительности и дозы-реакции сна, С. Хёрш уточнил численные оценки параметров модели, расширил её исходную структуру и получил программный продукт, сейчас известный аббревиатурой SAFTE (Sleep, Activity, Fatigue, Task Effectiveness) и предназначенный для предотвращения усталости [6].

Другая модель – представленная в [7] – предназначена для прогнозирования продолжительности нерегулярного сна и бодрствования. В этой модели работоспособность (в терминах авторов – бодрость) как функция от времени выражается в условных единицах и включает в себя две составляющих – циркадную  $C$  и гомеостатическую  $S$  (рис. 1). Циркадная составляющая определяется циркадными ритмами – так называемыми биологическими часами, т.е. закономерным колебанием функций организма человека в течение суток. Гомеостатическая составляющая характеризует затраты внутренних ресурсов (резервов) организма на компенсацию влияния на него внешних факторов. Циркадная кривая  $C$  имеет синусоидальную форму с пиком во второй половине дня. В свою очередь гомеостатическая кривая, имея локальный максимум в момент последнего пробуждения, убывает по экспоненте, а с момента начала сна становится уже возрастающей экспоненциальной функцией. Авторы установили, что на практике показателю 3 соответствует крайняя сонливость, показателю 14 – максимальная работоспособность, а показатель 7 является для сонливости пороговым.

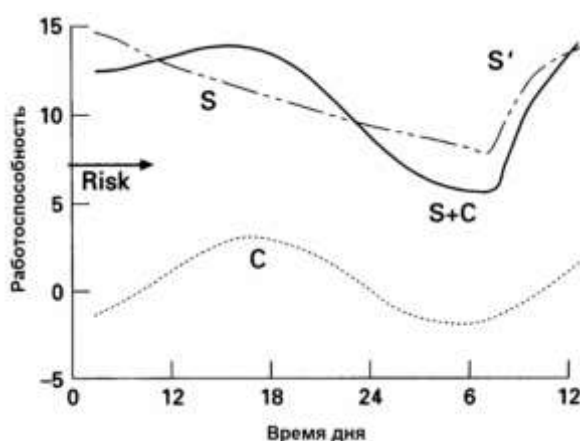


Рис. 1. Модель нерегулярного сна и бодрствования

Кривые, изображённые на рис. 1, аналитически описываются следующим образом:

$$S = (S_a - L)e^{-0,0353t_1} + L = 11,6e^{-0,0353t_1} + 2,4;$$

$$S' = U - (U - S_r)e^{-0,38t_2} = 14,3 - (14,3 - S_r)e^{-0,38t_2};$$

$$C = M \cos[\pi(t_3 - p)/12] = 2,5 \cos[\pi(t_3 - p)/12],$$

где  $S_a = 14$  – значение  $S$  на момент пробуждения;

$L = 2,4$  – низшая асимптота;

$S_r$  – значение  $S$  на момент засыпания;

$U = 14,3$  – высшая асимптота;

$M = 2,5$  – амплитудное значение циркадной функции;

$p$  – акрофаза – момент времени, соответствующий максимуму циркадной функции;

$t_1$  – время, прошедшее с момента последнего пробуждения;

$t_2$  – время, прошедшее с момента начала сна;

$t_3$  – время суток.

Astronaut Scheduling Assistant – одна из моделей, которую использует Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA) для предупреждения усталости и регулирования соотношения периодов сна и бодрствования. В основе этой модели лежит комплекс математических уравнений, численных методов и программных процедур, которые на основе сна и его потери (острой и хронической), дневного сна, циркадных ритмов и воздействия света, прогнозируют нейроповеденческую производительность и оценивают оптимальность суточного графика [8].

Многие морские администрации разработали и внедрили собственные руководства по предупреждению усталости моряков. При этом в некоторых из них присутствует инструмент для количественной оценки риска появления усталости. Так, например, Австралийское управление по безопасности на море, тривиально определив основным фактором усталости недостаток сна, предлагает для оценки риска усталости информацию, представленную в табл. 1 [9, 10].

Таблица 1

Оценка риска усталости

| Фактор риска                                                             | Низкий уровень риска | Значительный уровень риска | Повышенный уровень риска |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|
| Количество рабочих часов в течение 7 дней                                | <50                  | 50-70                      | >70                      |
| Количество рабочих часов (за сутки)                                      | <9                   | 10-12                      | >12                      |
| Часы отдыха (между периодами работы)                                     | >12                  | 7-12                       | 7<                       |
| Количество последовательных ночных дежурств за 7 дней (с 21:00 до 09:00) | 0-1                  | 2-3                        | >4                       |
| Количество коротких перерывов около 15 минут (в рабочее время)           | >3                   | 1-2                        | 0                        |
| Величина длительного непрерывного отдыха (за 7 дней) в часах             | >30                  | 24-30                      | <24                      |

В статье [11] описывается использование программного обеспечения «Martha» для анализа уровня сонливости члена экипажа в зависимости от его режима работы и

отдыха. Программное обеспечение «Martha» основано на математической модели, сформированной в рамках исследования «Horizon Project», которая описывает суточную динамику сонливости членов экипажа в зависимости от индивидуальных режимов сна и несения вахты. Уровень сонливости оценивается по шкале Каролинска (KSS), которая содержит 9 значений. Считается, что при значении  $KSS > 5$  член экипажа испытывает сниженное пробуждение, а при  $KSS > 8$  присутствует риск засыпания во время выполнения работы.

Очевидно, что утомляемость ВПК в первую очередь проявляется в ночное время. Если текущая навигационная ситуация заставляет судоводителя постоянно оценивать безопасность расхождения с другими судами и при необходимости маневрировать, то связанная с такой ситуацией эмоциональная нагрузка в некоторой степени поддерживает у ВПК необходимое состояние бодрствования и обеспечивает саморегуляцию борьбы с усталостью. Однако монотонное течение вахты может поспособствовать тому, что судоводитель потеряет самоконтроль и заснёт от усталости. С целью обеспечения состояния ВПК, позволяющего ему бороться с усталостью и сном, были созданы и внедрены на суда системы контроля дееспособности вахтенного помощника капитана (СКДВП). Впрочем, такое название технического средства вряд ли следует признать удачным, т.к. к контролю дееспособности как таковой эта система имеет опосредованное отношение. Это больше система сигнализации (своеобразный будильник), чему доказательство – англоязычный вариант названия – Bridge navigational watch alarm system.

Вместе с тем, следует заметить, что применение технических средств является одним из основных направлений предупреждения усталости моряков. Так, авторы работ [1, 12] видят перспективным использование для целей диагностики функционального состояния моряка измерение и изучение его электронно-фотонного излучения методом газоразрядной визуализации. Таким образом, предлагается оценивать умственную усталость, а через неё редукцию функционального состояния.

В итоге становится очевидно, что проблема существующей методологии управления риском усталости моряков заключается в многообразии методов, отсутствии единого системного подхода к контролю и предупреждению усталости. Для построения системы контроля за усталостью необходимо систематизировать модели, классифицировать их по различным признакам и проанализировать каждую из моделей на предмет их ограничений и применимости в потенциальных системах контроля за усталостью.

Вместе с тем, сверхвысокая сложность задачи и недостаток знаний пока не привели к какому-либо эффективному решению, и усталость моряков остаётся, как и прежде, обычным и широко распространённым явлением. Здесь требуется инновационное комплексное решение, и поддержка его реализации всеми заинтересованными сторонами, и причём не только декларативная. Подобное решение может быть построено на математической основе, априори не является тривиальным и в итоге будет представлять результат исследования, включающего в себя последовательность этапов, первый из которых – постановочный – представлен в настоящей работе.

### **Классификация усталости и основа её математической формализации**

При изучении усталости специалистов в разных отраслях используются различные классификации усталости. В соответствии с наиболее распространённой из них усталость может быть физической, умственной и эмоциональной (при этом очевидна практически аксиоматическая взаимосвязь между этими видами усталости) [4]. По другой классификации усталость бывает либо острой, либо хронической. При этом острая усталость – это нормальное явление, которое исчезает после периода отдыха, а хроническая усталость возникает в результате длительного накопления

острой усталости. Традиционный механизм компенсации (сон) практически не работает для хронической усталости, а эффективен только для острой усталости.

В целях настоящего исследования предлагается следующая классификация усталости:

- краткосрочная (вахтенная) усталость – усталость вахтенного помощника, накапливающаяся в течении одной вахты;
- среднесрочная (рейсовая) усталость – усталость судоводителя, накапливающаяся в течение рейса;
- долгосрочная (карьерная) усталость – усталость судоводителя, накапливающаяся в процессе карьеры.

Кроме того, принимаем за аксиому, что все виды усталости взаимосвязаны. Так, например, в конце рейса, когда среднесрочная усталость максимальна, краткосрочная усталость также накапливается быстрее.

Каждый вид усталости определяется совокупностью факторов. В свою очередь, каждый фактор может быть дефрагментирован на некоторые факторные единицы таким образом, чтобы каждая единица могла быть оценена количественно.

Следует заметить, что вместе с факторными единицами, определяющими рост усталости, функции усталости должны содержать и факторные единицы противоположного знака, обеспечивающие релаксацию физического и психоэмоционального состояния судоводителя.

С точки зрения математической формализации усталости факторная единица является аргументом как функции, позволяющей оценить количественно сам фактор (что в рамках настоящей работы не так важно), так и функции усталости определённого вида. В итоге каждый из видов усталости можно формализовать в виде общих функциональных зависимостей, как это представлено в табл. 2.

*Таблица 2*

**Функции усталости**

|                         |                                                |
|-------------------------|------------------------------------------------|
| Краткосрочная усталость | $X = f_x(x_y, x_z, x_1, x_2, \dots, x_n, t_x)$ |
| Среднесрочная усталость | $Y = f_y(y_x, y_z, y_1, y_2, \dots, y_m, t_y)$ |
| Долгосрочная усталость  | $Z = f_z(z_x, z_y, z_1, z_2, \dots, z_k, t_z)$ |

В зависимостях, представленных в табл. 2:

$x_i$  – аргументы или факторные единицы краткосрочной усталости,

$y_i$  – аргументы или факторные единицы среднесрочной усталости,

$z_i$  – аргументы или факторные единицы долгосрочной усталости,

$t_x$  – время, прошедшее сначала вахты,

$t_y$  – время, прошедшее сначала рейса,

$t_z$  – время, прошедшее сначала карьеры.

Несмотря на то, что среди задач, решаемых в рамках настоящей статьи, не присутствовала идентификация факторных единиц, некоторые предложения по ним представлены далее.

Так, признавая необходимость принимать к учёту соотношение «работа – отдых» и циркадные ритмы, в число факторных единиц краткосрочной усталости следует добавить интенсивность трафика, эргономику мостика, уровень автоматизации процессов судовождения и гидрометеорологические факторы (в первую очередь, волнение).

В число аргументов функции среднесрочной усталости необходимо включить частоту судозаходов, среднюю продолжительность одного перехода, качество питания, оценку быта и микроклимата, среднесуточный интернет-трафик, предоставляемый моряку (качественный интернет для члена экипажа морского судна, месяцами находящегося вдали от берега, является одним из источников его работоспособности).

Функция долгосрочной усталости, напрямую связанная с таким понятием как «эмоциональное выгорание», среди своих аргументов должна содержать отношение общего времени нахождения в море к совокупному времени межрейсовых периодов, а также среднюю продолжительность рейса.

Исходя из принятой выше аксиомы, что все виды усталости взаимосвязаны друг с другом (или, иными словами, определяют друг друга) в число аргументов представленных в табл. 2 функций включены аргументы  $x_y$ ,  $x_z$ ,  $y_x$ ,  $y_z$ ,  $z_x$ ,  $z_y$ , смысл которых пояснён в табл. 3.

Так, например,  $x_y$  – это аргумент, определяющий влияние на усталость в течении одной ходовой навигационной вахты усталости, накопленной на протяжении рейса.

Функции  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  схематичны изображены на рис. 2. На этом рисунке:

- не показаны межвахтовые и межрейсовые периоды;
- вид функций выбран произвольно, исключительно для наглядной визуализации предлагаемой концепции;
- значения  $X_{кр}$ ,  $Y_{кр}$  и  $Z_{кр}$  – подлежащие дальнейшему обоснованию критические значения функции усталости;
- функции вахтовой и рейсовой усталости условно показаны на моменты времени, относящиеся к началу, середине и концу рейса (карьеры).

Таблица 3

**Пояснение взаимосвязанных аргументов**

|     | $X$                                                                                                                                                                                                      | $Y$                                                                                                                                | $Z$                                                                                                                                                                     |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $X$ | <i>Краткосрочная (вахтовая) усталость</i>                                                                                                                                                                | $x_y$ : аргумент, определяющий влияние на усталость в течение одной навигационной вахты усталости, накопленной на протяжении рейса | $x_z$ : аргумент, определяющий влияние на усталость в течение одной навигационной вахты усталости, накопленной на протяжении карьеры (влияние эмоционального выгорания) |
| $Y$ | $y_x$ : аргумент, определяющий кумулятивное (накапливающееся с начала рейса) влияние особенностей несения ходовой навигационной вахты на рейсовую усталость (на накопление усталости с течением времени) | <i>Среднесрочная (рейсовая) усталость</i>                                                                                          | $y_z$ : аргумент, определяющий влияние имеющейся степени эмоционального выгорания на рейсовую усталость (на накопление усталости с течением рейса)                      |

|   |                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                       |                                    |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Z | $Z_x$ : аргумент, определяющий кумулятивное (накапливающееся с начала карьеры) влияние особенностей несения ходовой навигационной вахты на степень эмоционального выгорания | $Z_y$ : аргумент, определяющий кумулятивное (накапливающееся с начала карьеры) влияние особенностей каждого рейса на степень эмоционального выгорания | Долгосрочная (карьерная) усталость |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|

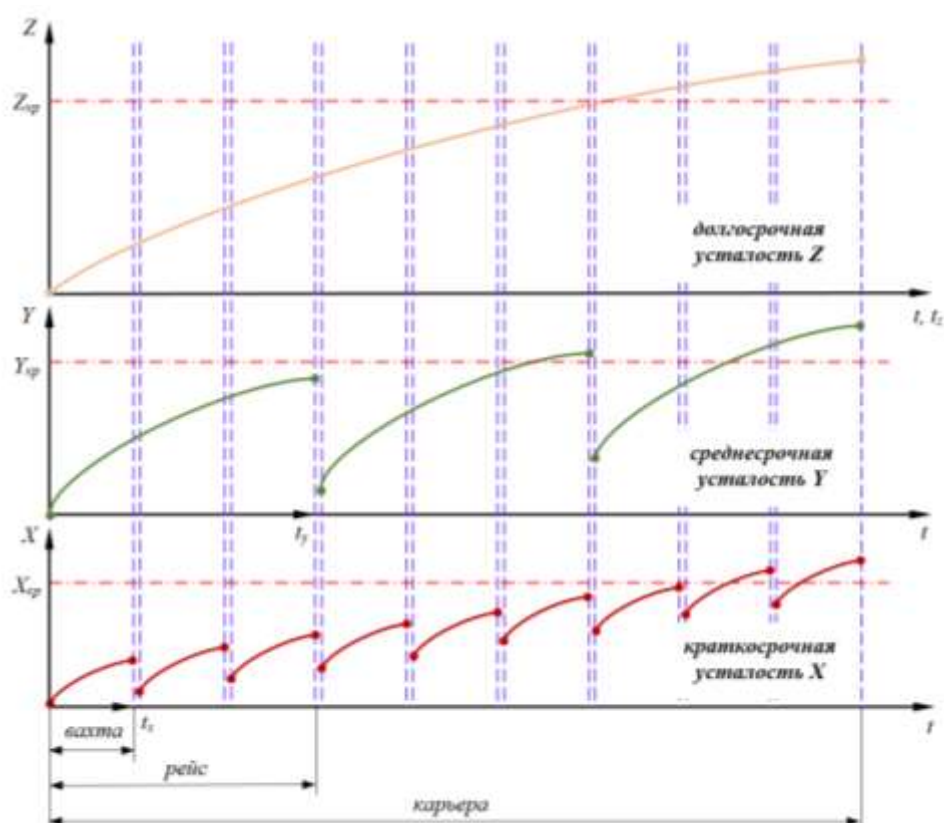


Рис. 2. Схематическое изображение функций усталости

Представленная в общем виде и обоснованная на концептуальном уровне математическая формализация усталости является ничем иным, как плацдармом для дальнейших исследований, задачами которого являются:

- формирование полных перечней аргументов или факторных единиц для каждого вида усталости;
- обоснование методик количественной оценки каждой факторной единицы (при отсутствии таковых);
- обоснование шкал оценивания усталости и конкретизация функциональных зависимостей;
- обоснование критических значений усталости каждого вида, а также мероприятий и рекомендаций в двух направлений: по уменьшению градиента

усталости для предупреждения критических значений и для случая, когда усталость того или иного вида уже достигла или превысила своего критического значения.

При решении этих задач необходимо будет принять во внимание следующее:

- функции краткосрочной (вахтовой) и среднесрочной (рейсовой) усталости обладают свойством нестационарности в том смысле, что они зависят как от величины временного отрезка (длительности вахты, длительности рейса), так и от того, где именно на временной оси происходит их оценка;
- временной градиент среднесрочной (рейсовой) усталости в межвахтовый период будет меньше, чем в течение вахты также, как и градиент долгосрочной (карьерной) усталости в межрейсовый период.

### **Заключение**

Что же, всё-таки, такое усталость? Явление? Феномен? Диагноз? Неотъемлемая часть морского социума? В любом случае, природа человеческая такова, что усталость в его деятельности будет присутствовать всегда, точнее, периодически появляться после того, как продолжительность непрерывной работы человека при отсутствии отдыха и, в частности, сна достигнет некоторой «критической массы».

В настоящей работе усталость рассмотрена в контексте обоснованной классификации на краткосрочную (вахтовую), среднесрочную (рейсовую) и долгосрочную (карьерную) усталость. При чём принципиально то, что все эти виды усталости взаимосвязаны. Так, краткосрочная усталость при прочих равных условиях накапливается в течении вахты быстрее на пятом месяце рейса, чем на первом, т.е. когда среднесрочная усталость ещё только начинает появляться. Сюда же как катализатор можно добавить долгосрочную усталость – эмоциональное выгорание влияет и на долгосрочную и на среднесрочную усталость.

«Измерение утомляемости затруднено, поскольку утомляемость представляет собой совокупность субъективного восприятия, производительности и физиологического функционирования. Отсутствие универсального инструмента для измерения утомляемости затрудняет исследования, нацеленные на то, чтобы связать утомляемость с результатами для здоровья и безопасности» [13].

Несмотря на скептицизм этой цитаты, она, всё-таки, имеет «мягкий» характер – используется слово затруднено, а не невозможно. Самый банальный инструмент измерений ощущений, чувств и т.п. основан на двоичной системе – «устал – не устал». Но насколько эта система проста, настолько и бесполезна, точнее польза ее в первичной приближённой субъективной оценки усталости.

Однако в настоящей работе с учётом приведённой выше классификации и аксиоматической взаимосвязи видов усталости были сформированы функции усталости. Или иными словами, результатом работы является классификация усталости и обоснованная на концептуальном уровне её математическая формализация.

### **Список литературы**

1. Каретников В.В. Козик С.В., Соколова И.А. Исследование влияния усталости судоводителя на процесс обеспечения безопасности судоходства // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2017. Т. 9, № 2. С. 272-279. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-272-279.
2. Томилин А.Н., Боран-Кешишьян А.Л., Томилина С.Н., Яворская Д.О. К вопросу об усталости персонала судов как одной из существенных причин аварий на транспортных судах // Эксплуатация морского транспорта. 2020. № 3(96). С. 15-23. DOI: 10.34046/aumsuomt96/3.
3. Ермаков С.В., Моисеев П.А. Использование глобальной интегрированной информационной системы ИМО для исследования суточного распределения навигационных аварий // Морские интеллектуальные технологии. 2021. № 4-4(54). С. 80-86. DOI: 10.37220/MIT.2021.54.4.011.

4. Григорьев Н.Н., Сигаев Д.Б. Формы и эффективность международной морской организации (ИМО) при борьбе с усталостью моряков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2017. Т. 9. № 3. С. 506–515. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-506-515
5. Дживо К.Ф. Модель психоэмоциональных аспектов в судовождении и их влияние на качество принятия управленческих решений при несении вахты // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2020. № 60-61. С. 113-122.
6. Hursh, Steven & Redmond, Daniel & Johnson, Michael & Thorne, David & Belenky, Gregory & Balkin, Thomas & Storm, William & Miller, James & Eddy, Douglas. (2004). Fatigue Models for Applied Research in Warfighting. Aviation, space, and environmental medicine. 75. A44-53
7. Akerstedt T, Folkard S. Predicting duration of sleep from the three process model of regulation of alertness. Occup Environ Med. 1996 Feb;53(2):136-41. doi: 10.1136/oem.53.2.136.
8. Whitmire, Alexandra & Leveton, Lauren & Barger, Laura & Brainard, George & Dinges, David & Klerman, Elizabeth & Shea, Camille. (2009). Risk of Performance Errors Due to Sleep Loss, Circadian Desynchronization, Fatigue, and Work Overload Risk of Performance Errors due to Sleep Loss, Circadian Desynchronization, Fatigue, and Work Overload. Evidence-Based Review by NASA Behavioral Health and Performance Program
9. Australian Maritime Safety Authority. Fatigue Guidelines-Managing and Reducing the Risk of Fatigue at Sea 2020. P.1-50.
10. Моисеев П.А., Ермаков С.В. Анализ опыта морской администрации Австралии по управлению риском усталости моряков // Новые стратегии и технологии морского судоходства и промысла: Материалы Первой национальной научно-технической конференции, Калининград, 25 февраля 2022 года / Отв. за выпуск Т.С. Станкевич. Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. С. 53-56.
11. Шошин А.Р. Шкала сонливости Каролинска: применение модели «Martha» для предварительной оценки состояния членов навигационной вахты // Транспортное дело России. 2023. № 3. С. 142-146. DOI: 10.52375/20728689\_2023\_3\_142.
12. Шалякин М.А., Лютко С.В. Новые методы управления усталостью экипажа судна. Богатство России: Сборник докладов, Москва, 06–08 декабря 2017 года. Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2018. С. 29-31.
13. Сыпало А.С. Усталость моряков в вопросах обеспечения безопасности мореплавания. Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли: материалы VII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Владивосток, 26 ноября 2021 года / Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет. Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2022. С. 379-384.

#### References

1. Karetnikov V.V. Kozik S.V., Sokolova I.A. Issledovanie vliyaniya ustalosti sudovoditelya na protsess obespecheniya bezopasnosti sudokhodstva [Influence of fatigue skipper on ensuring security of navigation] // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral S.O. Makarova. 2017. T. 9, № 2. pp. 272-279. (In Russ). DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-272-279.
2. Tomilin A.N., Boran-Keshish'yan A.L., Tomilina S.N., Yavorskaya D.O. K voprosu ob ustalosti personala sudov kak odnoi iz sushchestvennykh prichin avarii na transportnykh sudakh [On the issue of ship personnel fatigue as one of the significant causes of accidents on transport vessels] // Ehkspluatatsiya morskogo transporta. 2020. № 3(96). pp. 15-23. (In Russ). DOI: 10.34046/aumsuomt96/3.
3. Ermakov S.V., Moiseev P.A. Ispol'zovanie global'noi integrirovannoi informatsionnoi sistemy IMO dlya issledovaniya sutochnogo raspredeleniya navigatsionnykh avarii [Use of the IMO global integrated shipping information system to study the daily distribution of navigation accidents] // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2021. № 4-4(54). pp. 80-86. (In Russ). DOI: 10.37220/MIT.2021.54.4.011.
4. Grigor'ev N.N., Sigaev D.B. Formy i ehffektivnost' mezhdunarodnoi morskoi organizatsii (IMO) pri bor'be s ustalost'yu moryakov [Forms and effectiveness of imo in seamen fatigue mitigation] // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova. 2017. T. 9. № 3. pp. 506–515. (In Russ). DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-506-515.

5. Dzhivo K.F. Model' psikhoehmotsional'nykh aspektov v sudovozhdenii i ikh vliyanie na kachestvo prinyatiya upravlencheskikh reshenii pri nesenii vakhty [Model of psychoemotional aspects in navigation and their influence on the quality of decision-making management while watchkeeping] // *Nauchno-tekhnicheskii sbornik Rossiiskogo morskogo registra sudokhodstva*. 2020. № 60-61. (In Russ). pp. 113-122.
6. Hursh, Steven & Redmond, Daniel & Johnson, Michael & Thorne, David & Belenky, Gregory & Balkin, Thomas & Storm, William & Miller, James & Eddy, Douglas. (2004). Fatigue Models for Applied Research in Warfighting. Aviation, space, and environmental medicine. 75. A44-53
7. Akerstedt T, Folkard S. Predicting duration of sleep from the three process model of regulation of alertness. *Occup Environ Med*. 1996 Feb;53(2):136-41. doi: 10.1136/oem.53.2.136.
8. Whitmire, Alexandra & Leveton, Lauren & Barger, Laura & Brainard, George & Dinges, David & Klerman, Elizabeth & Shea, Camille. (2009). Risk of Performance Errors Due to Sleep Loss, Circadian Desynchronization, Fatigue, and Work Overload Risk of Performance Errors due to Sleep Loss, Circadian Desynchronization, Fatigue, and Work Overload. Evidence-Based Review by NASA Behavioral Health and Performance Program
9. Australian Maritime Safety Authority. Fatigue Guidelines-Managing and Reducing the Risk of Fatigue at Sea 2020. P.1-50.
10. Moiseev P.A., Ermakov S.V. Analiz opyta morskoi administratsii Avstralii po upravleniyu riskom ustalosti moryakov [Analysis of the experience of the australian maritime administration in managing the risk of fatigue of seamen]. *Novye strategii i tekhnologii morskogo sudokhodstva i promysla: Materialy Pervoi natsional'noi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, Kaliningrad, 25 fevralya 2022 goda / Otv. za vypusk T.S. Stankevich. Kaliningrad: Izd-vo BGARF FGBOU VO «KGTU», 2022. (In Russ). pp. 53-56.*
11. Shoshin A.R. Shkala sonlivosti Karolinska: primeneniye modeli «Martha» dlya predvaritel'noi otsenki sostoyaniya chlenov navigatsionnoi vakhty [Karolinsk drowsiness scale: application of the Martha model for preliminary assessment of the members of the navigational watch] // *Transportnoe delo Rossii*. 2023. № 3. (In Russ). pp. 142-146. DOI: 10.52375/20728689\_2023\_3\_142.
12. Shalyakin M.A., Lyutko S.V. Novye metody upravleniya ustalost'yu ehkipazha sudna [New methods for managing ship crew fatigue]. *Bogatstvo Rossii: Sbornik dokladov, Moskva, 06–08 dekabrya 2017 goda. Moskva: Moskovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni N.EH. Bauman (natsional'nyi issledovatel'skii universitet), 2018. (In Russ). pp. 29-31.*
13. Sypalo A.S. Ustalost' moryakov v voprosakh obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya [Fatigue of seafarers in matters of safety of navigation]. *Kompleksnye issledovaniya v rybokhozyaistvennoi otrasli: materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh, Vladivostok, 26 noyabrya 2021 goda / Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi tekhnicheskii rybokhozyaistvennyi universitet. Vladivo-stok: Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi tekhnicheskii rybokhozyaistvennyi universitet, 2022. (In Russ). pp. 379-384.*

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Ермаков Сергей Владимирович**, к.т.н.,  
директор Морского института, Калининградский  
государственный технический университет  
(ФГБОУ ВО «КГТУ»), 236029, г. Калининград,  
ул. Молодёжная, 6, e-mail: sv.ermakov@bgarf.ru

**Sergey V. Ermakov**, Ph.D. in Engineering  
Science, Nautical Institute Director,  
Kaliningrad State Technical University, 6,  
Molodeznaya str., Kaliningrad, 236029

**Моисеев Павел Алексеевич**, преподаватель  
кафедры судовождения и безопасности  
мореплавания, аспирант Морского института,  
Калининградский государственный технический  
университет (ФГБОУ ВО «КГТУ»), 236029, г.  
Калининград, ул. Молодёжная, 6, e-mail:  
pamoiseev182@gmail.com

**Pavel A. Moiseev**, Lecturer of Navigation  
and Maritime Safety Department, Nautical  
Institute Postgraduate Student, Kaliningrad  
State Technical University, 6, Molodeznaya  
str., Kaliningrad, 236029

Статья поступила в редакцию 03.03.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.  
Received 03.03.2025; published online 20.06.2025.