

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-2-78-1>

УДК 629.067

Колебанов А.К.

Херсонская государственная морская академия

Чаусовский Г.А., Лашко Н.П.

Запорожский национальный университет

ПРИМЕНЕНИЕ BIOTEХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА МОРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Аннотация. Обеспечение безаварийной эксплуатации морских судов требует создания надежных систем контроля за физиологическим состоянием вахтенных морских судов. Это обусловлено тем, что более 80% аварийных ситуаций в сфере морского судоходства связано с понижением уровня бодрости у вахтенных. Разработана принципиально новая биотехническая система «Антисон» для вахтенных морских судов. Новизной разработки является комплексное применение сенсоров частоты сердечных сокращений, постуральных параметров и электропроводности кожных покровов вахтенного, которые включаются в цепь управления миниатюрными устройствами повышения уровня бодрствования (элементом Пельтье и аппликаторов – побудителей микровибраций на теле). Испытания разработки в условиях сенсорной монотонии, инициирующей дремотное состояние, показало, что разработанная система «Антисон» в 6 раз уменьшает риск развития аварийных ситуаций из-за снижения уровня бодрствования оператора (вахтенного морского судна).

Ключевые слова: морской транспорт, биотехническая система, антисон, аварийная ситуация, элемент Пельтье.

Kolebanov Alexander

Kherson State Maritime Academy

Chausovsky Grigory, Lashko Natalya

Zaporizhzhya National University

APPLICATION OF THE BIOTECHNICAL SYSTEM BY MARINE TRANSPORT

Summary. To reduce the likelihood of accidents in maritime transport, it is necessary to create reliable systems for monitoring the physiological state of crew members of sea vessels, especially to monitor the physiological state of the watch on duty. This is due to the fact that more than 80% of accidents at sea are caused by the influence of the human factor. Accidents on sea and river vessels lead to large losses for shipowners and cargo owners and to environmental pollution. The causes of accidents in maritime transport are precisely technical malfunctions associated with the complication of navigation conditions, the improvement of ship equipment and the influence of the human factor. The influence of the human factor is due to the high intensity of the work of the crew of sea merchant and passenger ships in modern conditions. The great influence of the human factor is caused by nervous overload and crew fatigue due to violations of the daily rhythm customary for a person, change of time zones, sudden changes in climatic zones for short periods of time, and the use of reduced crews on merchant ships. Reducing the influence of the human factor in emergency cases can be achieved through self-improvement and self-control of crew members of sea and river vessels. One of the areas is the fight against stress through self-monitoring of the psychophysical state of crew members of sea and river vessels. For operators who are on a 24-hour shift on the navigation bridge, a fundamentally new biotechnological Antisleep system was developed. The novelty of the development lies in the integrated use of heart rate sensors, parameters of posture and electrical conductivity of the skin, which are included in the control circuit of miniature devices to increase the level of wakefulness (Peltier element applicators and microvibro-stimulator on the body). The development of tests in conditions of sensory monotony, initiating a state of drowsiness, showed that the developed Antisleep system reduces the risk of emergency situations by 6 times due to a decrease in the level of wakefulness and expands the ability to reduce emergency situations. caused by the human factor.

Keywords: sea transport, human factor, probability of accidents, biotechnological system, antisleep, electrical conductivity, skin, level of wakefulness.

Постановка задачи. Обеспечение безаварийной эксплуатации морских судов требует создания надежных систем контроля за физиологическим состоянием экипажа морских судов, особенно вахтенных. Это обусловлено тем, что более 80% аварийных ситуаций в сфере морского судоходства связано с понижением уровня бодрости у вахтенных. Аварии судов приводят к большим убыткам судовладельцев и владельцев грузов, загрязнению окружающей среды. Причинами аварий на морском транспорте явля-

ются именно технические неисправности и влияние человеческого фактора [1; 2].

Анализ последних тематических достижений. В настоящее время разработаны различные системы «Антисон» для операторов стратегических объектов и водителей транспортных средств [3; 4; 5], однако, по своим функциональным возможностям они не в полной мере отвечают критериям эксплуатационной надежности.

Известным биотехническим системам «Антисон» присуща низкая физиологичность побудителей со-

стояния бодрствования [6; 7; 8], что значительно снижает их эксплуатационную эффективность.

Известные подходы формирования технических систем активации уровня бодрствования вахтенных морских судов путем применения акустической сигнальной информации являются не только информационно ограниченными, но и потенциально опасными. Известно, что резкий акустический сигнал-побудитель активности, сопровождается повышением уровня стрессовых гормонов, симпатической активацией и иницированием недопустимого импульсивного поведения.

Нерешенные проблематические задачи.

На наш взгляд, решение проблемы повышения безопасности на морском транспорте путем применения биотехнических систем может быть успешно реализовано только при условии создания надежных электронных средств как мониторинга функционального состояния плавсостава, так и повышения эксплуатационной эффективности технических средств активации уровня бодрствования операторов [9].

В настоящее время не решены проблемы оснащения вахтенных морских судов эффективными системами мониторинга их физиологического состояния в реальном режиме времени реализации ими служебных обязанностей. Известный же арсенал технических средств активации уровня бодрствования вахтенных морских судов не отвечает критериям физиологичности и эксплуатационной надежности.

Цель исследований. Целью наших исследований была разработка принципиально новой системы «Антисон» для вахтенных морских судов, которая бы отвечала критериям как высокой эксплуатационной надежности, физиологичности, так и общедоступности эксплуатации в условиях специфики несения вахтенной службы на морских судах.

Для практической реализации поставленной цели авторами был предложен принцип полисенсорности, предусматривающий использование многоканального мониторинга физиологического состояния оператора (вахтенного) и полифункционального принципа повышения уровня его бодрствования на ранних стадиях формирования дремотного состояния.

Проведенные нами исследования показали, что одним из вариантов повышения эффективности мониторинга за формированием предсонного состояния вахтенного является комплексный контроль за вариацией у него показателя частоты сердечных сокращений (ЧСС), электропроводности кожных покровов и поструральных параметров. Авторами для этих целей были разработаны: миниатюрный инфракрасный регистратор ЧСС (ушная сенсорная клипса), пальцевое кольцо (электродный сенсор миниатюрного кондуктометра для регистрации электрического сопротивления кожных покровов) и электронный сенсор положения головы (регистратор «кивков», характерных для формирования начальных– стадий дремотного состояния). Для повышения уровня бодрствования вахтенного на начальных стадиях формирования у него дремотного состояния, непрерывно регистрируемого вышеописанной полисенсорной системой мониторинга, авторами разработана полифункциона-

льная побудительная система «Антисон». Эта система предусматривает использование аппликатора промежуточности – охлаждающего элемента Пельтье, который при получении от сенсорной системы сигнала «засыпание» формирует рефлекторный (аналогичный «мокрым пеленкам») физиологический отклик – пробуждение.

Результаты исследований. Согласно нашим исследованиям, в качестве дублирующего побудительного сигнала повышения уровня бодрствования на ранних стадиях формирования дремотного состояния, целесообразно использовать не акустический сигнал, как это имеет место в известных системах «Антисон», а именно низкоинтенсивного вибротактильного сигнала. Это обусловлено тем, что внезапно появляющаяся сигнальная акустическая информация о формировании дремотного состояния может формировать состояние испуга и, соответственно, недопустимое для профессиональной операторской деятельности оператора состояние импульсивного поведения.

Нами были проведены сравнительные испытания разработанных побудителей активации уровня бодрствования операторов в условиях воздействия полисенсорных монотонных раздражителей. В эксперименте участвовала однородная по показателям индивидуального вегетативного профиля группа из 10 человек. Регистрация показателя частоты сердечных сокращений осуществлялась с помощью электронного пульсометра Polar F6.

Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 1 (показатели ЧСС приведены усредненные).

В процессе проведения исследований, авторы создавали рабочий фон в виде сенсорной (звуковой, световой и вибротактильной) монотонии, инициирующей формирование дремотного состояния, а контроль засыпания оператора осуществляли путем непрерывного мониторинга частоты сердечных сокращений, энцефалограммы головного мозга, показателя вариабельности сердечного ритма и омега – потенциала.

В качестве сравнительного показателя физиологичности инициирования состояния бодрствования, на фоне формирования начальных стадий дремотного состояния, использовался непрерывно мониторируемый параметр частоты сердечных сокращений вахтенного (ЧСС).

Как видно из приведенных в табл. 1 экспериментальных данных, наиболее «мягким» активатором уровня бодрствования является элемент Пельтье и вибротактильный побудитель. Использование же звукового сигнализатора индуцирует состояние стресса (даже через 30 сек. частота сердечных сокращений не снижается до уровня «норма»).

Нами также были проведены исследования по оптимизации выбора ароматического побудителя активации уровня бодрствования в условиях воздействия монотонных полисенсорных (звуковых, световых и вибрационных) раздражителей. Распыление эфирных масел осуществлялось с помощью портативного ультразвукового диспергатора. Дозирование производилось в миллиграммах эфирного масла на кубометр помещения, где проводилось исследование. Длительность процедуры – 20 минут. Тестирование

Таблица 1

Сравнительный анализ эффективности различных побудителей активации уровня бодрствования

Время, сек	Вид побудителя активации уровня бодрствования		
	Элемент Пельтье	Звуковой сигнал	Вибротактильный сигнал
	Частота сердечных сокращений, уд/мин		
3	76	88	78
6	74	93	78
9	76	95	82
12	78	97	82
15	78	97	81
18	78	96	80
21	78	94	78
24	77	94	79
27	75	93	78
30	75	90	76

Источник: разработано авторами

проводилось перед аромапроцедурой и после неё. В качестве критерия эффективности ароматического побудителя уровня бодрости использовался показатель количества ошибок (в процентах) при осуществлении тестирования с помощью стандартного опросника. Сравнительные результаты этих исследований приведены в табл. 2 (приведены усредненные показатели для однородной по возрастному составу и образовательному уровню группы из 10 человек).

Таблица 2

Сравнительный анализ эффективности различных ароматических побудителей уровня бодрствования

№ п/п	Обонятельный активатор уровня бодрствования	Количество ошибок, %
1	Эфирное масло герани розовой	17%
2	Эфирное масло эвкалипта	15%
3	Эфирное масло гвоздики	13%
4	Эфирное масло перечной мяты	10%
5	Эфирное масло лимона	10%
6	Эфирное масло котовника кошачьего	7%
7	Эфирное масло розмарина	5%

Источник: разработано авторами

Как видно из приведенных в табл. 2 результатов экспериментальных исследований, в качестве дополнительного инструментального приема повышения уровня бодрости оператора в условиях монотонной производственной деятельности целесообразно дискретное (экспозиция – 30 минут) ультразвуковое распыление эфирного масла розмарина или котовника кошачьего.

Практическая аппаратная реализация предложенной системы предусматривает использование следующих сенсоров:

- ртутного (для регистрации постуральных параметров и микровибраций);
- электродного (для регистрации кожно-гальванической реакции);
- инфракрасного оптоэлектронного (для регистрации частоты сердечных сокращений);
- механотронного (для регистрации двигательной активности;

– тензорезистивного для регистрации частоты дыхания.

Поддержание требуемого уровня бодрствования вахтенных морских судов требует также осуществления целенаправленного психофизиологического тренинга по самоформированию высокого уровня работоспособности и самоконтролю своего психоэмоционального состояния.

На наш взгляд, ускоренное освоение такого вида психотренинга в условиях эксплуатации морских судов возможно только на основе применения принципа биологической обратной связи (БОС). Для этих целей авторами разработаны следующие системы БОС:

- трансформирование сердечного ритма в специфический музыкальный рисунок, ритмо-темповая структура которого отражает показатель вариабельности сердечного ритма;

- трансформирование частоты дыхательных движений в светодинамические эффекты, синхронизированные с ритмом дыхания;

- трансформирование двигательной активности в специфическую акусто-визуальную информацию, ритмо-темповая структура которой косвенно отражает индивидуальный вегетативный профиль.

Для ускоренного освоения навыков самоуправления стрессом плавсоставом, нами разработаны следующие инструментальные психотехнологии:

- акустический самоконтроль ритма дыхания;
- визуализация в реальном режиме времени по принципу БОС показателя ЧСС;

- постуральный самоконтроль с помощью за-ушника с ртутным сенсором угла наклона головы.

Нами разработан для плавсостава «анти-стрессовый пояс», конструктивное оформление которого выполнено в виде тактильных сенсоров для самоконтроля за формированием диафрагмального типа дыхания. Это позволяет ускоренно, по принципу БОС, освоить паттерны этого дыхания, способствующего активации парасимпатического тонуса вегетативной нервной системы в реальных условиях развития стрессовых ситуаций. Известно, что снижение симпатической активации путем респираторной активации парасимпатического тонуса вегетативной нервной

системы является наиболее эффективным приемом самоуправления стрессом. При этом формируются конкретные биохимические отклики антистрессовой направленности в форме активации эндогенного синтеза нейромедиатора ацетилхолина – природного транквилизатора.

Специально для вахтенных морских судов нами разработаны «антистрессовые очки» позволяющие ускоренно формировать состояние эмоциональной стабильности непосредственно перед заступлением на вахту. Принцип действия этих очков основан на синхронизации ритма дыхания с генерированием акусто-визуальных стимулов, что позволяет ускоренно индуцировать общедоступными немедикаментозными методами состояние эмоциональной стабильности. Характерно, что при этом сохраняются показатели высокого уровня работоспособности и минимизируется вероятность импульсивного поведения в экстремальных ситуациях.

Для экспресс-диагностики индивидуального показателя уровня стресса перед заступлением на вахту нами разработан портативный электронный регистратор тремора с электрохимическим интегратором, что позволяет непосредственно в условиях эксплуатации морских судов общедоступными приемами получать информацию, необходимую для минимизации вероятности негативного влияния человеческого фактора на развитие предаварийных ситуаций.

Испытания разработанной электронной полисенсорной системы «Анти-сон» показали, что в условиях монотонии воздействия внешних раздражителей (акустических, зрительных, вибрационных) она значительно уменьшает риск возникновения аварий при управлении транспортным средством из-за снижения уровня бодрствования оператора (вахтенного). Расчетным путем было определено, что использование разработанной системы «Антисон» сокращает вероятность возникновения аварийных ситуаций из-за человеческого фактора (недопустимого засыпания) в 6 раз.

Характерно, что разработанная система позволяет также использовать ее сенсорные элементы для дистанционного (телеметрического) мониторинга показателей уровня бодрствования операторов и генерирования сигнальной информации (звуковой и световой) остальным членам экипажа в целях принятия экстренных противоаварийных мер организационного и технического характера. Это имеет существенное значение для своевременного предотвращения аварии при внезапном ухудшении состояния оператора (инфаркт, инсульт, потеря сознания, летальный исход).

Испытания разработки показали также, что она может быть использована и для диагностики профессиональной пригодности по показателю

устойчивости к засыпанию в условиях сенсорной монотонии. При этом значительно повышается объективность этого вида диагностики на профессиональную пригодность по сравнению с тестированием с помощью опросников и дифференциацию на «сов», «жаворонков» и т.д. Для этих целей авторы в процессе исследований применяли портативные электрохимические интеграторы, позволяющие в реальном режиме времени получать обобщенную информацию об уровне бодрствования в процессе выполнения профессиональных обязанностей.

Таким образом, разработанная биотехническая электронная система «Антисон» расширяет возможности снижения аварийных ситуаций, обусловленных человеческим фактором.

Наши дальнейшие исследования в области совершенствования биотехнических систем повышения безопасности эксплуатации морских судов будут направлены на изучение возможности применения параметра variability сердечного ритма вахтенного в качестве сигнала управления комплексом инструментальных средств активации уровня его бодрствования.

Выводы и предложения.

1. Повышение эффективности биотехнических систем «Антисон» для вахтенных морских судов требует разработки принципиально новых технических решений систем мониторинга физиологического состояния вахтенного и средств активации уровня его бодрствования.

2. Экспериментально подтверждено, что в условиях несения вахтенной службы объективная оценка физиологического состояния вахтенного может быть реализована только на основе применения технической системы многокритериального физиологического мониторинга.

3. Специфика вахтенной службы на морских судах обуславливает необходимость применения полисенсорных принципов активации уровня бодрствования вахтенных, исключающих иницирование импульсивного поведения и повышения уровня ситуационной тревожности.

4. Системный подход к проблеме повышения безопасности эксплуатации морских судов должен учитывать необходимость реализации современных инструментальных методов повышения стрессоустойчивости членов экипажа путем использования портативных аппаратурных средств биологической обратной связи.

5. Для повышения безаварийности эксплуатации морских судов путем минимизации влияния человеческого фактора на развитие предаварийных процессов, в частности, из-за снижения уровня бодрствования вахтенных, рекомендуется использование полисенсорных инструментальных принципов мониторинга их физиологического состояния и активации уровня бодрствования в реальном режиме времени.

Список литературы:

1. Безлуцкая О.П. Людський фактор у системі безпеки судноплавства : матеріали VIII міжнар. наук.-практич. конфер. сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT (Херсон, 24-26 трав. 2016. ХДМА). 2016. С. 81–83.
2. Стадниченко С.М. Человеческий фактор на море : учеб.-метод. пособ. Одесса : Астропринт, 2003. 192 с.
3. Кравченко А.П. Система контроля и предупреждения водителя от засыпания. Автомоб. трансп. : сб. науч. тр. 2009. Вып. 25. С. 44–47.
4. Якименко А.В. Утомление как фактор снижения надежности водителей. Шахты : ИСОИП, 2016. С. 407–411.

5. Богданов А.В. Обоснование работы устройства для предотвращения засыпания водителя. Троицк : ГЮУАУ, 2015. С. 18–31.
6. Дорохов В.Б. Сомнологическая безопасность профессиональной деятельности. Москва : ЖВНД, 2013. № 1. С. 33.
7. Бузников С.Е. Принципы построения рекордных автомобильных систем активной безопасности : труды XIV междунар. конфер. проблемы управления безопасностью сложных систем. Москва : Изд-во РГГУ, 2006. С. 506–507.
8. Способ предотвращения столкновений автомобиля с препятствиями и система для его осуществления: патент № 2335805 РФ, опубл. 10.10.2008 бюл. № 28.
9. Система для предотвращения столкновений автомобиля с препятствиями «ИНКА–СПОРТ»: патент на полезную модель № 64794 РФ, опубл. 10.07.2007 бюл. № 19.

References:

1. Bezlutskaaya, O.P. (2016). Lyudskiy faktor u sistemI bezpeki sudnoplavstva [Human factor in the safety of navigation]. Proceedings of the *Suchasni Informatsiyi ta Innovatsiyi tehnologiyi na transporti (Ukraine, Kherson, May 24-26, 2016)*. Kherson: Suchasni Informatsiyi ta Innovatsiyi tehnologiyi na transporti, pp. 81–83.
2. Stadnichenko, S.M. (2003). Chelovecheskiy faktor na more [The human factor at sea]. Odessa: Astroprint. (in Ukrainian)
3. Kravchenko, A.P. (2009). Sistema kontrolya i preduprezhdeniya voditelya ot zasyipaniya [The system of monitoring and warning the driver from falling asleep]. Donetsk: Visn. Donets. acad. car transp., v. 25, pp. 44–47.
4. Yakimenko, A.V. (2016). Utomlenie kak faktor snizheniya nadezhnosti voditeley. [Fatigue as a factor in reducing driver reliability]. Shahtyi: ISOIP, pp. 407–411.
5. Bogdanov, A.V. (2015). Obosnovanie raboty ustroystva dlya predotvrascheniya zasyipaniya voditelya [Justification of the device to prevent the driver from falling asleep]. Troitsk: GYuUAAU, pp. 18–31.
6. Dorohov, V.B. (2013). Somnologicheskaya bezopasnost professionalnoy deyatelnosti [Somnological safety of professional activity]. Moscow: ZhVND, 33 p.
7. Buznikov, S.E. (2006). Printsipy postroeniya rekordnykh avtomobilnykh sistem aktivnoy bezopasnosti [The principles of building record automobile active safety systems]. Trudy XIV Mezhdunarodnoy konferentsii «Problemy upravleniya bezopasnostyu slozhnykh sistem». Moscow: Izd-vo RGGU, pp. 506–507.
8. Buznikov, S.E., & Elkin, D.S. (2008). Sposob predotvrascheniya stolknoveniy avtomobilya s prepyatstviyami i sistema dlya ego osuschestvleniya [A method for preventing collisions of a car with obstacles and a system for its implementation] Patent RF № 2335805, opubl. 10.10.2008 byul. № 28. (in Russian)
9. Buznikov, S.E., & Elkin, D.S. (2007). Sistema dlya predotvrascheniya stolknoveniy avtomobilya s prepyatstviyami «ИНКА–СПОРТ» [The system for preventing collisions of the car with obstacles "INCA–SPORT"]. Patent RF na poleznuyu model № 64794, opubl.10.07.2007 byul. № 19. (in Russian)