

ОБЗОРЫ,  
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СТАТЬИ

УДК 612.821.73

СОМНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

© 2013 г. В. Б. Дорохов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт высшей нервной деятельности  
и нейрофизиологии Российской академии наук, Москва,  
e-mail: vbdorokhov@mail.ru

Поступила в редакцию 19.10.2012 г.

Принята в печать 19.10.2012 г.

Сомнология накопила достаточно большой объем объективных знаний о негативных эффектах недостатка сна, повышенной сонливости и патологий сна на здоровье людей и безопасность профессиональной деятельности, чтобы сформулировать эти знания в доступной форме для общества и принятия государством законодательных актов и организационных мероприятий, предотвращающих эти негативные эффекты. Необходимость решения этих проблем привело к возникновению новой области медицины сна — *производственной медицины сна (Occupational sleep medicine)*, задачей которой является анализ влияния физиологических механизмов сна и функционирования циркадианной системы на эффективность профессиональной деятельности и опосредованным образом на здоровье людей. Для обозначения различных причин, вызывающих нарушения профессиональной деятельности используют термин “утомление”. Полагают, что развитие утомления связано с тремя основными факторами: дефицит сна, определяемый длительностью предшествующего бодрствования и сна; временем суток (циркадианным ритмом) и наконец, характером работы (длительностью, интенсивностью и сложностью рабочего процесса). В рамках подходов, развиваемых производственной медициной сна, была сформулирована концепция системы управления риском переутомления (*Fatigue Risk Management System*) для планирования режима труда и отдыха и обеспечения безопасности на разных видах транспорта и производства. В отечественной литературе существует недостаток информации о влиянии механизмов сна на безопасность профессиональной деятельности, поэтому обзор будет интересен широкому кругу специалистов, связанных с анализом человеческого фактора, безопасностью жизнедеятельности и охраной труда.

*Ключевые слова:* сон, бодрствование, утомление, сонливость, дефицит сна, циркадианные ритмы, работоспособность, безопасность профессиональной деятельности.

**Somnology and Occupational Safety**

**V. B. Dorokhov**

*Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, Moscow,  
e-mail: vbdorokhov@mail.ru*

Somnology has saved up enough great volume of objective knowledge of negative effects of a lack of the sleep, the raised drowsiness and sleep pathologies for health of people and occupational safety to formulate this knowledge in the accessible form for a society and acceptance by the state of acts and the organizational actions preventing these negative effects. The necessity of the salvation of these problems has led to occurrence of a new area of occupational sleep medicine, which problem is the analysis of influence of physiological mechanisms of a sleep and functioning circadian systems on efficiency of professional activity and health of people. For a designation of the various items causing infringements of professional work use the term fatigue. It is believed that fatigue development is connected with three major factors: deficiency of a sleep — defined by duration of previous wakefulness and a sleep, time-of-day and at last, task-related factors. Within the limits of approaches developed the occupational sleep medicine had been formulated the Fatigue Risk Management System. In the Russian literature there is a lack of the information on influence of mechanisms of a sleep on occupational safety, therefore the review will be interesting to a wide range of the experts dealing with the analysis of the human factor, health and an occupational safety.

*Keywords:* sleep, fatigue, sleepiness, sleep deprivation, occupational safety, performance, circadian, time of day.

DOI: 10.7868/S0044467713010048

Сон — это одна из основных потребностей человека. Функции бодрствующего мозга, эффективность человеческой деятельности и реализация его когнитивных возможностей зависят от количества и качества ежедневного ночного сна. Хроническое недосыпание стало следствием развития цивилизации — изобретение Эдисоном электрической лампочки лишило человечество нормального, согласованного с ритмами природы сна. Подсчитано, что продолжительность сна по сравнению с XIX веком сократилась на 20%, и сегодня примерно 60% людей страдают хроническим недосыпанием, т.е. регулярно спят меньше генетически предписанных 7–9 ч. Технологический прогресс, с одной стороны, уменьшил многие причины катастроф, но, с другой стороны, увеличил дефицит сна, вызываемый увеличением длительности бодрствования и нарушениями циркадианной ритмики в связи с необходимостью непрерывной круглосуточной работы на некоторых производствах и транспорте, приводящих к большей утомляемости и снижению работоспособности. Автоматизация и облегчение управления многими процессами снижает общий уровень активности человека, усиливает монотонный характер многих видов работ и делает человека более восприимчивым к давлению сна и сонливости. В качестве примера неадекватной деятельности персонала (скрывающейся за неопределенным термином “человеческий фактор”) в условиях дефицита сна служат катастрофы на ядерных реакторах Три Майл Айленда, Чернобыля, гибель “Челленджера” и многие другие.

По данным Национальной комиссии по исследованию расстройств сна, в США 36% взрослого населения имеют проблемы, связанные с нарушениями сна. Около 40 млн. страдают хроническими патологиями сна, а у 30 млн. бессонница возникает периодически, что создает угрозу возникновения различных заболеваний. В результате нарушений сна около 40 000 человек в год умирают, 250 000 получают травмы, заснув за рулем. Десятилетнее исследование в Калифорнии показало, что смертность среди людей, которые спят менее 6 ч в сутки, на 70% выше, чем среди тех, у кого ночной сон составляет 7–8 ч [40].

В настоящее время наука о сне накопила достаточно большой объем объективных знаний о негативном влиянии патологий сна, недостатка сна и повышенной сонливости на здоровье людей и безопасность профессиональной деятельности, чтобы сформулиро-

вать эти знания в форме, доступной для принятия решений на государственном уровне. Необходимым этапом является внедрение этих знаний в общественное сознание и принятие государством законодательных актов и организационных мероприятий, предотвращающих эти заболевания [41]. Хорошим примером такого подхода является история ликвидации оспы, снижение смертности от многих инфекций и др.

В США уже с 90-х годов прошлого столетия осознано, что проблемы, связанные с нарушениями сна, являются предметом национальной безопасности. Конгрессом США принят ряд законов о проблемах сна и выделяются средства для финансирования фундаментальных и прикладных исследований в ключевых областях науки о сне. В США по всей стране развернуто более 500 центров по коррекции нарушений сна, в рамках Национального института здоровья создан специальный Институт по изучению сна [40, 41].

В России в этом направлении также делаются определенные шаги, например обсуждается принятие закона об ограничении времени вождения транспортных средств. Однако большинство населения, включая государственных деятелей, ответственных за социальную политику в здравоохранении и принятии политических решений, не имеет необходимых знаний и четкой позиции относительно неотвратимости негативных последствий недостатка сна и связи катастроф с определенным временем суток (с 0:00 до 8:00 и с 13:00 до 15:00 ч), опасности повышенной сонливости у водителей, которая может достигать уровней, сравнимых с поведенческими последствиями довольно больших доз алкоголя, и т.д.

Ярким примером отсутствия понимания на государственном уровне негативных последствий дефицита сна на жизнь и здоровье населения привело в 2011 г. к принятию закона о переводе жизни россиян на летнее время, которое на 2 ч опережает поясное время, принятое в большинстве стран. Жизнь по новому времени зимой 2011–2012 гг. вызвала массовый рост числа заболеваний, снижение успеваемости и здоровья детей, увеличение аварийности на транспорте и т.д., что привело к требованиям отмены этого закона [6].

Полученные в последние годы знания о механизмах регуляции сна и бодрствования и физиологии циркадианной системы [5] были сформулированы в виде нового подхода к ре-

шению проблем безопасности профессиональной деятельности (БПД). В последнем издании общепризнанного руководства по медицине сна этот подход определен как новая область медицины сна – *производственная медицина сна (Occupational sleep medicine)*, рассматриваемая в тесном контакте с физиологией, гигиеной и психологией труда [12]. Задачей *производственной медицины сна* является анализ влияния физиологических механизмов сна и функционирования циркадианной системы организма на эффективность профессиональной деятельности и опосредованным образом на здоровье людей.

В настоящее время для обозначения множества факторов, вызывающих нарушения профессиональной деятельности, используют термин “утомление”, понимаемый в расширенном смысле по сравнению с тем, как этот термин использовался ранее [17, 24, 55, 79, 91]. Полагают, что развитие утомления связано с тремя основными факторами: 1) дефицитом сна, определяемым длительностью предшествующего бодрствования и сна; 2) временем суток (циркадианным ритмом) и, наконец, 3) характером работы (длительностью, интенсивностью и сложностью рабочего процесса) [91].

Следует отметить, что такое расширенное понимание термина утомление имеет некоторую неоднозначность и больше применимо для обсуждения общих проблем БПД. В случаях, когда требуется анализировать механизмы влияния дефицита сна на нарушения профессиональной деятельности, чаще используют термин “сонливость”, понимаемый как потребность организма во сне, а термин “утомление” – как реакция на воздействие физических или умственных нагрузок, характерных для конкретной трудовой деятельности [39, 71, 72].

В рамках подходов, развиваемых производственной медициной сна, была сформулирована многоуровневая концепция системы управления риском переутомления (Fatigue Risk Management System) для планирования режима труда и отдыха и обеспечения безопасности на разных видах транспорта и в производстве [29]. Однако мероприятия по планированию режима труда и отдыха имеют определенные ограничения, так как они не могут полностью предотвратить возникновение у оператора опасных состояний, возникающих непосредственно во время работы.

В ряде публикаций показан вероятностный характер возникновения ошибочных действий, причем нестабильность деятельности увеличивается при снижении уровня бодрствования [2, 21, 79, 94]. В некоторых случаях вероятность возникновения поведенческих ошибок становится сравнимой с действием довольно больших доз алкоголя [53, 90]. Следует отметить, что если для измерения содержания уровня алкоголя в организме водителя существуют точные и чувствительные приборы, то для измерения уровня сонливости таких приборов пока еще нет и соответственно нет законодательных ограничений для допустимого уровня сонливости. Однако задача поиска биологических “маркеров” сонливости сформулирована и в настоящее время интенсивно ведутся исследования в этом направлении [16, 31].

Получены определенные результаты о специфичности негативного влияния дефицита сна и циркадианных ритмов на определенные виды когнитивных функций и соответственно на определенные виды профессиональной деятельности [43, 64, 89].

Целью обзора является рассмотрение различных аспектов сомнологии, существенных для обеспечения безопасности профессиональной деятельности (БПД) – предотвращения аварий и нарушений деятельности, вызываемых дефицитом когнитивных функций вследствие критического снижения уровня бодрствования. В отечественной литературе существует определенный недостаток знаний в этой области, поэтому мы надеемся, что обзор будет интересен широкому кругу специалистов, связанных с анализом человеческого фактора, безопасностью жизнедеятельности и охраной труда.

## УТОМЛЕНИЕ, СОНЛИВОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Термин “утомление” в США используют различными государственными структурами для описания причины нарушений различных видов профессиональной деятельности [40, 86]. В России при анализе дорожно-транспортных происшествий часто употребляют выражение “не справился с управлением”, понимаемое также в очень широком смысле. В литературе существует много определений утомления. Понятия

“утомление”, “дремота” и “сонливость” часто используются как синонимы.

По современным представлениям основной причиной нарушений профессиональной деятельности является утомление, понимаемое субъективно как усталость, а объективно как причина нарушения выполняемой деятельности. Этот термин, по мнению специалистов по сну, наиболее близок к термину “сонливость” [40]. Сонливость может быть определена как нейробиологическая потребность организма во сне, возникающая в результате длительного бодрствования

Термин “утомление” с момента его появления был связан преимущественно с физическим и умственным трудом [1]. Хотя причины возникновения утомления и сонливости могут быть разными, последствия утомления и сонливости довольно сходны — снижение умственной и физической работоспособности. Исследования последних десятилетий показали тесную взаимосвязь механизмов регуляции сна и бодрствования, которые совместно с циркадианной системой мозга определяют круглосуточную деятельность организма.

Наиболее полное и авторитетное обсуждение взаимоотношений между безопасностью труда и утомлением можно найти в специальном выпуске журнала *Accident Analysis and Prevention*. 2011. V. 43, основанном на материалах Международной конференции “Будущие направления исследований утомления и безопасности” (*Future directions in fatigue and safety research — Hopkinton Conference*), проведенной в 2008 г. в научно-исследовательском институте безопасности, расположенном в г. Хопкинтон, Массачусетс, США [60].

Для проведения конференции была создана международная группа экспертов из 30 ведущих ученых в области медицины, здравоохранения, машиностроения, эргономики и других дисциплин из 25 учреждений Австралии, Финляндии, Франции, Германии, Италии, Новой Зеландии, Швеции, Великобритании и США. Было сформировано пять различных групп в соответствии с различными областями проблемы, которые в течение нескольких месяцев готовили рукописи для обсуждения на конференции.

При подготовке публикаций большое внимание было уделено обсуждению термина “утомление”: что это — процесс, состояние или гипотетическая конструкция, которые

могут привести к нарушению выполнения работы. Например: 1) утомление обязательно приводит к нарушению работы, 2) наличие мотивации к работе может предотвратить развитие утомления, 3) сонливость — форма утомления или что-то совсем другое. Одни рассматривали утомление как биологический мотив для сна, другие — более широко, как мотивацию для восстановления. Некоторые эксперты вообще сомневались, можно ли рассматривать утомление как потребность или мотивацию.

В результате было принято компромиссное решение: вместо введения всеобщего определения “утомление” использовать для каждой из пяти рабочих групп свое определение утомления, наиболее подходящее для обсуждения конкретных проблем. Таким образом, при любом рассмотрении утомления и его эффектов следует помнить, что нет четкого однозначного его определения. Поэтому “*утомление — это гипотетическая концепция, которая связывает ряд факторов, которые служат причиной развития усталости, вызывающее нарушения безопасности деятельности*” [60, 91].

Например, длительный период без сна и последующее возникновение аварий или несчастных случаев являются непосредственным проявлением утомления. Т.е. утомление — это и есть механизм, посредством которого осуществляется эта связь.

В статье А. Уильямсон с соавторами представлены современные представления о соотношениях механизмов регуляции сна и бодрствования в развитии утомления, возможных последствиях для безопасности и путях предотвращения этих последствий, которые схематично представлены на рисунке [91].

В этой статье авторы определяют утомление как биологическую потребность для восстановительного отдыха (*Fatigue is a biological drive for recuperative rest*). Как видно из схемы, слева представлены три основных фактора, вызывающих утомление: 1) время суток (*Time of day*) и циркадианные ритмы; 2) дефицит сна, определяемый длительностью предшествующего бодрствования и сна (*Time/s awake*) и, наконец, 3) факторы, связанные с работой (*Task-related factor*), — длительностью, интенсивностью и сложностью рабочего процесса. Эти факторы, как три составляющие утомления, выделяются и другими авторами [24, 79].

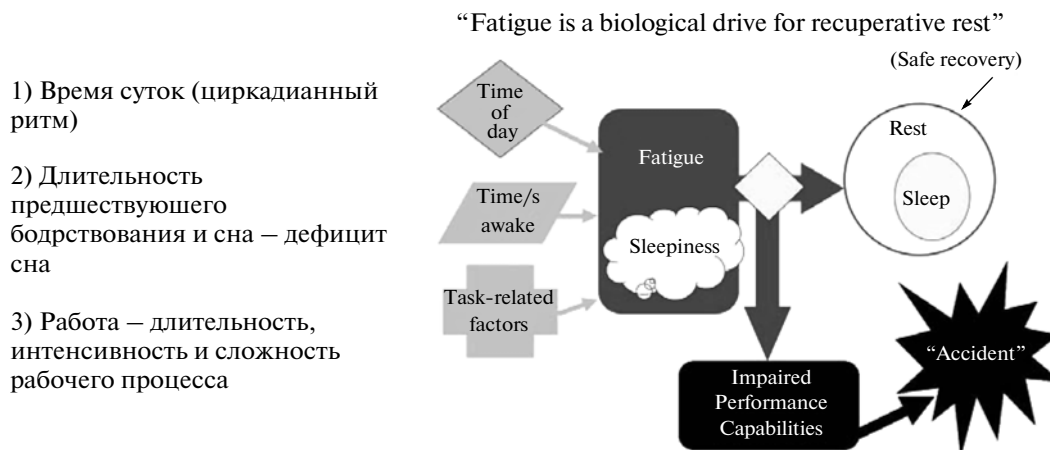


Схема для объяснения взаимоотношений между утомлением и безопасностью деятельности (из статьи А. Уильямсон с соавт. [91]).

Framework for examining the relationship between fatigue and safety (From Williamson et al. [91]).

При развитии утомления и сонливости может быть два исхода (рисунок, справа): 1) отдых (Rest) или сон (Sleep), приводящие к восстановлению работоспособности (Safe recovery), или 2) снижение работоспособности, которое может вызывать нарушения деятельности (Impaired Performance Capability) или даже аварии (Accident). Как следует из этой схемы, утомление (Fatigue), в зависимости от характера деятельности и условий трудового процесса, довольно часто связано с развитием сонливости (Sleepiness), и соответственно восстановительный отдых в зависимости от природы утомления может вовлекать или не вовлекать механизмы сна [49, 53, 63, 71, 72].

Первые два фактора, вызывающих утомление, имеют непосредственное отношение к регуляции сна и бодрствования. Третий фактор, определяемый непосредственно характером выполняемой деятельности – длительностью, интенсивностью и сложностью рабочего процесса – имеет более сложную природу. Однако и в этом случае при выполнении монотонной и скучной работы причиной снижения работоспособности может быть развитие состояния монотонии, в развитии которой также участвуют процессы, связанные с переходом от бодрствования ко сну и засыпанием [4]. Поэтому многие авторы [52, 53, 63, 71, 72] подчеркивают различие причин, вызывающих две разные формы утомления: 1) связанное со сном (sleep-related fatigue) и 2) связанное с характером выполняемой деятельности (task-related fatigue).

В развитии утомления, вызываемого сложной, трудоемкой, требующей напряженной физической и умственной деятельности [1, 52, 53], участвуют также и другие факторы, не имеющие прямого отношения к механизмам сна. В рамках настоящей статьи эта форма утомления подробно не рассматривается, так как в отечественной литературе обсуждению возможных психофизиологических механизмов этой формы утомления уделено достаточно внимания [1]. Приведем одно из определений этой формы утомления, предложенное А.Б. Леоновой с соавт. [7]: “Утомление – состояние истощения и дискоординации в протекании основных реализующих деятельность процессов, развивающихся вследствие продолжительного и интенсивного воздействия рабочих нагрузок, с доминированием мотивации на завершение работы и отдых”. Это определение сходно с определением, используемым А. Уильямсон с соавт. [91]), но авторы [7] обсуждают преимущественно только факторы, связанные с работой.

### ТРИ ФАКТОРА УТОМЛЕНИЯ И ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Рассмотрим, как три фактора утомления (рисунок) влияют на профессиональную деятельность на поведенческом уровне, не уточняя механизмов их действия [91].

### **1. Циркадианный ритм и профессиональная деятельность**

Одним из важнейших аспектов человеческой жизнедеятельности является 24-часовая структурированность сна и бодрствования — циркадианная ритмика. В исследованиях, где измерения ограничены только частью 24-часовых суток, используется термин “время дня”, если измерения охватывают все 24 ч, то используется термин “циркадианный”. Вероятность засыпания и последующая продолжительность сна существенно изменяются в течение суток, что в значительной степени обусловлено мозговыми эндогенными часами [16, 95]. В нормальных условиях как вероятность засыпания, так и субъективная оценка уровня сонливости имеет ярко выраженный циркадианный ритм с максимальными значениями, приходящимися приблизительно на 06:00 утра [9]. Имеется большая статистика того, что вероятность аварий и катастроф сильно увеличивается в то время, когда люди обычно спят. В исследованиях с контролируемыми показателями измерения показано, что в возникновении аварий наблюдается отчетливый циркадианный ритм [27].

Обобщенный анализ многих публикаций [27] показал, что пик риска аварий наблюдался значительно раньше, чем максимальный уровень сонливости, а именно между 02:00 и 03:00 ч ночью, а не в 6:00 ч утром. С учетом более поздних работ для времени максимального количества ночных аварий С. Фолкардом с соавт. [28] была сделана поправка и приведено значение — 00:28 (сразу после полуночи). Авторы полагают [28], что причиной расхождения времени пика ночных аварий в разных публикациях могло быть различие в следующих факторах: времени с момента [начала] бодрствования; времени с момента [начала] работы; расписание перерывов на отдых; разное распределение напряженности работы в течение смены; профессиональные различия; различия в качестве и интенсивности выполняемой работы; различия в условиях освещенности. Приведенные данные [28] означают, что уровень субъективно оцениваемой сонливости к утренним часам растет, а количество аварий и риск получения травм после полуночного пика, наоборот, к утру уменьшается. Возможное объяснение расхождению [28] то, что на риск аварий в большей степени влияют факторы, связанные с длительностью бодрствования, а не уровень сонливости и желание уснуть. В любом слу-

чае этот феномен определяется сложным взаимодействием между циркадианными и гомеостатическими факторами сна, которые индивидуальны для каждого субъекта и которые необходимо учитывать в реальных ситуациях.

### **2. Дефицит сна и профессиональная деятельность**

Снижение количества и качества сна или удлинение времени бодрствования вызывает потребность во сне и гомеостатическую мотивацию ко сну. Можно выделить краткосрочное (острое) лишение сна в предыдущую ночь, когда длительность сна не превышало 4 ч, и хроническую частичную депривацию сна — лишение нескольких часов сна в течение нескольких ночей [16, 80]. С точки зрения безопасности хронический недостаток сна может представлять больший риск, так как в этом случае люди субъективно воспринимают свой опасный уровень недостатка сна менее критично и соответственно у них меньше шансов принять необходимые меры предосторожности.

Есть множество исследований, где показано негативное влияние дефицита сна на безопасность труда, однако во многих случаях эти исследования имеют недостаток, связанный со сложностью сбора данных о предшествующей длительности сна и бодрствования, а также трудностью разделения гомеостатического фактора, связанного с дефицитом сна, с циркадианным фактором, связанным со временем суток [36]. Тем не менее в некоторых работах удалось разделить эти факторы, они выполнены в основном на водителях различных транспортных средств [35, 58], а также на медицинских работниках с круглосуточным дежурством [11, 47]. В этих работах убедительно показано, что предшествующее лишение сна приводит к увеличению риска дорожных аварий и увеличению ошибок медицинских работников с дефицитом сна.

Так как большинство исследований проведено в трудноконтролируемых реальных условиях вождения автомобиля, каких-то общих определенных закономерностей между величиной риска аварий и длительностью лишения сна пока не установлено.

### 3. Характер работы и профессиональная деятельность

Обычно выделяют следующие характеристики работы: длительность работы; длительность работы и время дня; погруженность в работу. Длительность выполнения работы влияет на возникновение утомления (умственного, физического, эмоционального) и часто рассматривается как мера оценки вероятности возникновения аварий и нарушений деятельности в промышленности и на транспорте. Действительно, имеется много публикаций, в которых показано наличие такой связи, однако в любом случае довольно трудно отделить эффекты, вызываемые длительностью выполнения работы, от влияний, оказываемых длительностью непрерывного бодрствования, перерывами на отдых, циркадианными ритмами и т.д. Показано наличие двух пиков возникновения «нарушений деятельности»: 1) в первой половине рабочего дня [27, 50] и 2) к концу рабочей смены после длительной работы [34, 61]. Многие авторы полагают, что появление второго пика к концу рабочего дня может быть связано с последующим утомлением, развивающимся после отдыха после первого пика [77].

При анализе влияния длительного времени работы на развитие утомления важным является вопрос связи его с временем дня. Есть две группы работ, по-разному отвечающих на этот вопрос. На большом объеме данных (80 водителей, 200 000 миль пути) с тестированием многих показателей деятельности и уровня бодрствования продемонстрировано, что эти показатели были более связаны со временем дня, а не с длительностью работы (нахождения за рулем) [25, 56]. Однако в других исследованиях [77, 88], где анализировалось время работы между перерывами на отдых на промышленном производстве, риск происшествий был независим от времени дня и пропорционально увеличивался при увеличении длительности выполнения работы. Автор одной из указанных работ [77] предположил, что это связано с монотонным характером работы.

В любом случае причина возникновения двух пиков «нарушений деятельности» в течение рабочего требует дальнейших исследований, чтобы разделить два фактора, связанных: 1) с загруженностью работой и 2) с временем дня (циркадианный ритм).

Известно, что характеристики рабочего процесса, такие как монотония, скука, одно-

образный характер деятельности с низким уровнем внешней стимуляции, также вносят вклад в развитие физического и умственного утомления и могут нарушать БПД. М. Каскадон и У. Демент [13] предполагают, что монотония выявляет существующую «замаскированную» латентную сонливость, которая проявляется при низком уровне стимуляции, характерной для монотонии. Термин «дорожный гипноз» часто используется для обозначения снижения сознательного контроля при вождении в монотонных малоизменяющихся условиях на дальних дорогах [4, 24]. По мнению А. Уильямсон с соавт. [91], большинство исследований по анализу влияния монотонии и скуки как причины возникновения аварий носят описательный характер и нельзя определенно утверждать, что такие характеристики рабочего процесса как монотония и скука являются независимыми факторами риска или связаны с сонливостью вследствие депривации сна или циркадианных ритмов.

### СОНЛИВОСТЬ И ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Другой подход к анализу аварий возможен с использованием оценки своего состояния самим человеком, а не с помощью различных факторов вызывающих эти состояния, как это было рассмотрено выше. Для этого были разработаны различные методы оценки уровня сонливости как по субъективным, так и по объективным показателям. Существуют тесты для определения уровня сонливости по самоотчетам как для определения острого уровня сонливости за короткое время (Stanford Sleepiness Scale—SSS), так и для хронического состояния сонливости (Epworth Sleepiness Scale — ESS). Несмотря на то что способность людей субъективно оценивать свой уровень сонливости довольно индивидуальна [19, 38, 42, 68], тем не менее на большом количестве людей эти методы репрезентативны.

Есть две работы [14, 15], в которых для анализа связи сонливости с вероятностью аварий использовали тестирование людей после аварий. Показана высокая степень предсказуемости аварийности по показателям сонливости. В объемном исследовании на 20 000 водителях [57] собраны данные о самооценке частоты вождения в сонном состоянии и проведено сравнение уровня сонливости с наличием аварий в течение 3 лет. Это и несколько других исследований [18, 54, 57] показали, что

водители с высоким уровнем сонливости по субъективным оценкам имели вероятность попадания в аварию, в 1.5–3 раза большую, чем водители с более низкими показателями сонливости, хотя по индивидуальным данным эти показатели не всегда совпадали.

Более объективный метод оценки уровня сонливости основан на видеорегистрации поведения водителя. Использование этого метода сделало возможным прямое наблюдение за лицом водителя, позволяющее более объективно определить дремотное состояние по расслаблению мышц лица, закрыванию век, трудности поддержания головы в вертикальном положении. Результаты использования видеонаблюдения для оценки дремотного состояния водителя и влияние его на аварийность водителей представлены в работах [44, 45]. Было оборудовано 100 автомобилей, за 13 мес. исследований на 241 водителе было зафиксировано 69 аварий и 761 аварийная ситуация. Анализ данных показал, что вероятность аварийных ситуаций была почти в 3 раза выше у водителей, находившихся в дремотном состоянии с высоким уровнем сонливости.

#### **Сонливость. Системы контроля уровня бодрствования водителя**

Как показывают исследования, непрерывное бодрствование более 17 ч может вызывать нарушения когнитивной деятельности, сравнимые с действием алкоголя [51, 90]. Однако если для измерения содержания уровня алкоголя в организме водителя существуют точные и чувствительные приборы, то для измерения уровня сонливости таких приборов пока нет. В последние годы задача поиска биологических “маркеров” сонливости сформулирована и в настоящее время интенсивно ведутся исследования в этом направлении [16, 31, 66]. Наиболее разработанной областью определения критического уровня сонливости является измерение сонливости с помощью систем контроля уровня бодрствования водителя по физиологическим и поведенческим показателям во время вождения [92]. В зависимости от основной функции этих систем в англоязычной литературе для их обозначения можно встретить несколько названий — Driver Vigilance Monitoring, Drowsiness Detection Systems, Fatigue Monitoring Systems. Анализ

эффективности систем мониторинга состояния водителя был проведен в рамках Европейского проекта AWAKE (<http://www.awake-eu.org/>). Результатом этого проекта был общий вывод о том, что в настоящее время еще нет достаточно надежных и универсальных систем контроля уровня бодрствования. Однако это направление перспективно и его требуется развивать, используя комплексные подходы к дифференциальной диагностике опасных состояний водителя, связанных с сонливостью, дремотой и сниженным уровнем внимания. Анализ 15 различных систем контроля уровня бодрствования приведен в обзоре [92].

Следует отметить, что в нашей стране создана уникальная система контроля уровня бодрствования для машинистов, основанная на регистрации кожно-гальванического сопротивления от кожной поверхности рук, которая используется на 6000 электровозах Российских железных дорог. Принципы работы этой системы описаны в статье [3]. В настоящее время модификация этой системы, предназначенной для водителей автотранспорта, реализована в виде прибора Вигитон (<http://www.neurocom.ru>).

#### **Сонливость и патологии сна**

Рассматривая связь факторов, вызывающих утомление и нарушения деятельности у здоровых людей, следует упомянуть о влиянии основных патологий сна на БПД, так как многие из них довольно часто не диагностируются и соответственно не лечатся. В ряде работ показан повышенный процент аварий у водителей, имеющих различные патологии сна. У большинства из них наблюдается синдром обструктивного апноэ сна (СОАС) — это заболевание, характеризующееся нарушениями дыхания во сне, сопровождающееся храпом и гипоксией, которые приводят к фрагментации ночного сна и, как следствие, к повышенному уровню сонливости днем. По данным Дж. Теран-Сантоса с соавт. [74], наличие СОАС в 6 раз увеличивает вероятность аварий, а прием алкоголя водителями с этой патологией приводит к дальнейшему увеличению вероятности попадания в аварии.

Таким образом, рассмотрение трех факторов, вызывающих утомление, подтвердило их негативное влияние на работоспособность и соответственно на БПД. Наиболее значимо и однозначно влияет на БПД недостаток сна, включающий депривацию сна и длительное



бодрствование. Доказательства влияния на БПД факторов, связанных с характером работы, тоже довольно аргументированы. Возможно, что характер работы, требующий непрерывного внимания и имеющий монотонный характер, с низким уровнем активации субъекта, является самостоятельным негативным фактором, независимым от уровня сонливости и вызывающим критическое состояние утомления и нарушения деятельности даже у отдохнувшего субъекта. Однако независимое влияние циркадианных ритмов на эффективность дневной профессиональной деятельности, по мнению ряда авторов, менее доказано и во многом определяется взаимодействием с гомеостатическим фактором сна, что соответственно требует дальнейших исследований в этом направлении [91].

### ДЕФИЦИТ СНА И КОГНИТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Для того чтобы правильно строить тактику предотвращения аварий, недостаточно формального описания факторов, вызывающих снижение работоспособности, недостаточно знания, что дефицит сна вызывает снижение работоспособности, даже если удастся количественно измерять уровень сонливости и вывести закономерности между сонливостью и работоспособностью. Необходимо знание нейробиологических механизмов, понимание, как система регуляции сна и бодрствования определяет функционирование когнитивных функций мозга [5, 84, 89].

Важнейшей функцией мозга является анализ внешних и внутренних сигналов и переработка полученной информации в адекватное поведение. В состоянии бодрствования мозг должен, с одной стороны, обеспечивать все эти функции, а с другой — поддерживать оптимальный энергетический баланс. Действие систем бодрствования направлено на реализацию наиболее эффективных состояний мозга, а гомеостатические системы сна действуют в противоположном направлении, удерживая мозг в экономичном режиме. Особенно явно эти разнонаправленные влияния проявляются при депривации сна — чем короче и более фрагментирован ночной сон, тем труднее на следующий день поддерживать устойчивое бодрствование и успешную когнитивную деятельность [43, 48].

Любая профессиональная деятельность требует активного участия всех когнитивных

функций человека. Однако определенные стороны и механизмы при разных видах деятельности доминируют в большей или меньшей степени. Поэтому при анализе влияния нарушений цикла сон — бодрствование на профессиональную деятельность следует уделять особое внимание специфичности эффектов на отдельные составляющие когнитивных процессов [32, 37, 43, 48, 64, 87, 89].

Как было показано выше, наиболее однозначное влияние на БПД оказывает депривация сна. Дефицит сна вызывает общее замедление скорости ответов, нарушение простейших форм внимания и готовности к ответу. Но предметом дискуссии является вопрос, влияет ли депривация сна глобальным образом на все когнитивные процессы через снижение уровня бодрствования или на некоторые когнитивные процессы больше, чем на остальные.

#### **Влияние дефицита сна на простые формы внимания. Гипотеза “состояния нестабильности”**

Показано, что при длительном бодрствовании время реакции меняется не плавно по мере увеличения длительности бодрствования, а могут неожиданно возникать эпизоды моментального увеличения латентности моторной реакции в 2–3 раза или даже отсутствия реакции, после чего время реакции быстро возвращается к исходным значениям [10, 62]. Этот феномен неожиданного изменения в характере выполнения реакций, вызываемый увеличением потребности во сне, был сформулирован в виде гипотезы “состояния нестабильности” во внимании [21, 33, 94].

Для прикладных аспектов БПД формулировка и наличие экспериментальных доказательств гипотезы о “состоянии нестабильности” при дефиците сна очень важны, так как это опровергает наши интуитивные представления о постепенном характере перехода от бодрствования ко сну. Поэтому при обсуждении и анализе нарушений деятельности, вызываемых длительным временем бодрствования, следует говорить о вероятности возникновения эпизодов “микросна” и сопровождающих их ошибок в деятельности, а не о засыпании или наступлении “момента сна” [2, 3]. Субъекты, входящие в профессиональную группу риска, связанную с дефицитом сна, должны быть проинформированы, что даже на ранних стадиях дремотного состояния, субъективно воспринимаемого

как неопасное, всегда возможно возникновение кратковременных эпизодов “микросна” длительностью 3–10 с.

Некоторые авторы предполагают [21, 33, 94], что причиной “состояния нестабильности” может быть функционирование гипотетического нейронного переключателя, предложенного С.Б. Сейпером с соавт. [69]. Предполагают, что две популяции нейронов “сна” и “бодрствования”, находящиеся в вентральном латеральном преоптическом ядре гипоталамуса, конкурентно тормозя друг друга, определяют возникновение “состояния нестабильности” поведенческих реакций при развитии потребности во сне [21, 94].

Другое возможное объяснение возникновения “состояния нестабильности”, вызывающего возникновение “микросна”, основано на новейших представлениях о локальных механизмах возникновения сна в отдельных нейронных популяциях мозга, которые начинают в первую очередь “отключаться, тормозиться, уставать ...” в результате длительного бодрствования [43, 66, 75, 83]. Гипотеза о локальных механизмах сна имеет много общего с представлениями И.П. Павлова о функциях сна как “охранительного торможения”.

Предполагаемой структурой мозга, в нейронных популяциях которой в первую очередь возможно возникновение локального сна, является лобная кора, которая, с одной стороны, наиболее чувствительна к депривации сна, а с другой – ее отдельные области являются критическими структурами, обеспечивающими функции внимания [32, 43, 46]. Существуют также и другие гипотезы о возможных нейрофизиологических механизмах возникновения эпизодов “микросна” [76].

#### **Дефицит сна, эмоциональные процессы и когнитивные функции**

Известно, что эмоции оказывают критическое влияние на когнитивные функции. В последние годы накапливается все больше доказательств о влиянии дефицита сна на когнитивные функции посредством воздействия на эмоциональные механизмы [85]. Как уже обсуждалось выше, наиболее отчетливые изменения после депривации сна наблюдаются в префронтальной области коры, связанной с функцией внимания. Однако известно, что вентральные и медиальные области префронтальной коры играют важную роль также и в эмоциональных процессах. Показано [93], что

усиление негативного характера восприятия неприятных стимулов после депривации сна связано с нарушениями связей между префронтальной корой и амигдалой – областью мозга, тесно связанной с генезом эмоций. Эти данные расцениваются как нарушение оптимального функционирования кортико-лимбических взаимодействий, возникающих в результате дефицита сна.

#### **Обучение и память**

Ключевую роль в когнитивных процессах занимают обучение и память. Влияние сна на обучение и память, по мнению большинства авторов, реализуется двумя основными способами. Во-первых, сон необходим до обучения, для подготовки мозга к последующему восприятию информации, ее переработке и сохранению. Во-вторых, сон нужен после обучения, для облегчения процессов, связанных с закреплением и интеграцией новой информации, с формированием различных форм памяти [8, 20].

Эмоциональный контекст обучения также оказался чувствителен к депривации сна. Обучение, связанное с негативными воздействиями более устойчиво к депривации сна, в то время как память, связанная с событиями, сопровождавшимися нейтральными и положительными эмоциями, в большей степени нарушалась после депривации сна [85].

#### **Функции программирования и контроля**

Считается, что высшие когнитивные функции мышления, связанные с программированием и контролем, тесно связаны с префронтальной корой, деятельность которой при лишении сна нарушается в наибольшей степени. Однако оказалось, что эффекты депривации сна сильно зависят от формы мышления. Так называемое конвергентное мышление, связанное с более однозначными формами принятия решения и планирования и основанное на четких правилах, мало восприимчиво к дефициту сна [48]. Другая же, более творческая форма мышления, так называемое дивергентное мышление, связанное с порождением инновационных решений, оказалась более чувствительной к депривации сна [5, 78]. При этом нарушения дивергентного мышления не восстанавливаются после применения стимуляторов типа кофеина, повышающего общий уровень активности и внимания [37].

### Рабочая память

Универсальным когнитивным компонентом, необходимым практически для всех функций, имеющих отношение к программированию и контролю действий, является рабочая память – способность удерживать и активно манипулировать информацией, удерживаемой во временном буфере памяти. Полагают, что рабочая память связана с дорзолатеральной частью префронтальной коры, а ее нарушения в результате депривации сна совпадают со снижением метаболизма в этой области мозга [82].

### Индивидуальные различия

Следует отметить, что депривация сна по-разному влияет на разных людей [55, 81]. Одни сравнительно легко переносят лишение сна и их когнитивные способности при этом мало нарушаются, возможно, что у них включаются активирующие механизмы, компенсирующие негативные эффекты депривации и, таким образом, эти люди более приспособлены к работе в ночные смены. Другие же, напротив, более чувствительны к такому воздействию, и их когнитивные способности нарушаются в большей степени. Накапливаются данные, что разная индивидуальная чувствительность к депривации сна может быть связана с генетическими различиями и обусловлена специфическими полиморфизмами часовых (циркадианных) генов [16, 31, 81].

Эффекты депривации сна сильно зависят от возраста. Оказалось, что подростки более чувствительны к депривации сна по сравнению с пожилыми людьми [73]. Поэтому у них уменьшение длительности ночного сна особенно сильно влияет на безопасность вождения на следующий день.

Таким образом, механизм влияния депривации сна на когнитивные процессы может зависеть от нескольких факторов, включающих негативное влияние на общий уровень активации и внимания в зависимости от степени влияния на специфические когнитивные функции мозговых структур, связанных с генезом эмоций. Также следует учитывать возможности мозга противодействовать этим негативным влияниям путем вовлечения дополнительных областей мозга, компенсирующих эти негативные эффекты депривации сна.

### КОНТРОМЕРЫ ДЛЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ УТОМЛЕНИЯ

Наиболее массовым видом человеческой деятельности, чувствительным к дефициту сна, является вождение автомобиля. Известно, что 10–20% серьезных дорожных происшествий связано с засыпанием водителей за рулем [23]. Именно поэтому и контрмеры для обеспечения безопасности водителей разработаны наиболее тщательно. Рассмотрим комплекс рекомендуемых мер для обеспечения транспортной безопасности, приведенный в обзоре Европейской комиссии по транспорту и энергии 2009 г., посвященном утомлению и контрмерам для предотвращения дорожных происшествий [24].

Контрмеры должны быть комплексными и направлены на водителя, транспортные компании, дороги и автомобили. *Водителей* следует обучать и объяснять опасность утомления и повышенного уровня сонливости (желания спать) [67, 68]; *компаниям* следует проводить постоянное информирование водителей об опасности вождения в дремотном состоянии и создавать условия работы с правильным режимом труда и отдыха [29]; *дороги* следует оборудовать виброшумовыми бордюрами на обочине и разделительной полосе, которые снижают аварийность за счет активации водителя в сонном состоянии и в ночное время [22, 23]; *автомобили* следует оборудовать системами, способными обнаруживать изменения физиологического уровня бодрствования и параметров вождения, характерных для утомленного водителя [2, 3, 92].

### Социальная политика информирования населения

Необходимым этапом для предотвращения серьезных дорожных происшествий, связанных с засыпанием водителей за рулем, является широкомасштабное информирование общественности об опасности вождения при сниженном уровне бодрствования и повышенной сонливости. Для проведения такой информационной кампании рекомендуются следующие темы [26]:

– сравнение вреда от усталости и повышенного уровня сонливости с алкогольным опьянением [51, 90];

– наиболее эффективными средствами являются кратковременный сон и прием кофе [30, 49, 67], а большинство других средств, та-

ких как открывания окна, громкая музыка и т.д., малоэффективно [70];

– объяснять водителям, что риск вождения в утомленном состоянии – это его личная ответственность по отношению к окружающим [79];

– информировать общественность о необходимости минимума сна и признаках наступающего утомления [79, 86];

– преодолевать распространенное мнение, что можно надежно оценить свое состояние утомления [38, 59, 68];

– внедрять эти знания в школах вождения.

В странах Западной Европы часто можно видеть слоган “Don’t drive tired”, которое можно перевести “Не рули усталым”. Надо сформулировать такое же выражение на русском языке, которое можно будет размещать в виде плакатов в общественных местах. Однако, как показывает опыт, для выработки у частных водителей понимания опасности вождения в дремотном состоянии такого рода компаний недостаточно. Для профессиональных водителей также существует путь законодательного определения необходимого режима длительности работы, сна и отдыха, что уже сделано во многих странах [41].

#### Европейское законодательство о режиме труда и отдыха водителя

Многие требования к режиму труда и отдыха водителя, учитывающие современные результаты исследований о влиянии дефицита сна на когнитивные функции, получили отражение в Европейском законодательстве № 561/2006. Законодательство ограничивает ежедневное время вождения, которое не должно превышать 9 ч. Исключение составляют два дня в неделю, когда период вождения может длиться 10 ч. Ежедневное время вождения не должно превышать 56 ч. Полное число часов вождения в течение двух недель подряд не должно превышать 90 ч.

Однако, как полагают, Европейское законодательство в некоторых отношениях не очень эффективно, так как не учитывает возможного кумулятивного эффекта дефицита сна и некоторые другие проблемы [23]. С.Б. Джонс с соавт. [41] критически проанализировал содержание законодательств Австралии, Канады, Англии и США относительно учета эффектов утомления по восьми параметрам: время дня, 24-часовой циркадианный ритм, длительность

сна, качество сна, дефицит сна, длительность работы и наличие перерывов для отдыха. Они пришли к выводу, что в настоящее время в законодательствах разных стран еще недостаточно полно представлены рекомендации ученых относительно научно обоснованного режима труда и отдыха водителей.

#### Система управления риском переутомления (Fatigue risk management system)

Выработкой таких практических рекомендаций ученые разных стран занимаются в рамках Системы управления риском переутомления (Fatigue Risk Management System – FRMS). В FRMS сформулированы многоуровневые, научно обоснованные положения по организации правильного режима труда и отдыха, организации превентивных мер предупреждающих развитие утомления и соответственно возникновения различных инцидентов и аварий в промышленности, транспорте и армии [29, 86].

В 2011 г. в качестве новой меры в борьбе с усталостью экипажей – распространенного фактора летных происшествий – Советом Международной организации гражданской авиации (ICAO) в Монреале были одобрены Международные стандарты для систем риск-менеджмента усталости как альтернатива предписанным ограничениям норм полетного и рабочего времени летных экипажей. Новые стандарты позволяют государствам самим принимать решение о переходе на нормы FRMS.

Работа выполнена при поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект № 12-06-00927а).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бодров В.А.* Профессиональное утомление. Фундаментальные и прикладные проблемы. М.: Ин-т психологии РАН, 2009. 560 с.
2. *Дементюенко В.В., Дорохов В.Б.* Оценка эффективности систем контроля уровня бодрствования человека оператора с учетом вероятностной природы возникновения ошибок при засыпании. Журн. высш. нерв. деят. 2013. 63(1): 24–32.
3. *Дементюенко В.В., Дорохов В.Б., Герус С.В., Корнева Л.Г., Марков А.Г., Шахнарович В.М.* Биоматематическая модель засыпания человека-оператора. Физиология человека. 2008. 5: 63–72.
4. *Дорохов В.Б.* Анализ психофизиологических механизмов нарушения деятельности при дремотных изменениях сознания. Вестн. РГНФ. 2003. 4: 137–144. Online: [http://www.sleep.ru/download/Dorohov\\_04.pdf](http://www.sleep.ru/download/Dorohov_04.pdf).

5. Ковальзон В.М. Основы сомнологии. Физиология и нейрохимия цикла бодрствование—сон. М.: Бинном. Лаборатория знаний, 2011. 239 с.
6. Ковальзон В.М., Дорохов В.Б. По поводу нового исчисления времени. Природа. 2012. 7: 65—67.
7. Леонова А.Б., Величковская С.Б. Дифференциальная диагностика состояний сниженной работоспособности. Психология психических состояний. Под ред. Прохорова А.О. Казань: Центр инновационных технологий, 2002. 4: 326—343.
8. Украинцева Ю.В., Дорохов В.Б. Влияние дневного сна на консолидацию декларативной памяти у человека. Журн. высш. нерв. деят. 2011. 61(2): 1—9.
9. Akerstedt T., Folkard S. Validation of the S and C components of the three process model of alertness regulation. Sleep. 1995. 8: 1—6.
10. Anderson C., Alan W.J., Wales A.W.J., James A., Horne J.A. PVT lapses differ according to eyes open, closed, or looking away. Sleep. 2010. 33(2): 197—204.
11. Barger L.K., Cade B.E., Ayas N.T., Cronin J.W., Rosner B., Speizer F.E., Czeisler C.A. Extended work shifts and the risk of motor vehicle crashes among interns. N. Engl. J. Med. 2005. 352 (2): 125—134.
12. Belenky G., Akerstedt T. Occupational Sleep Medicine. Principles and Practice of Sleep Medicine. 5<sup>th</sup> ed. Eds Kryger M.H., Roth T., Dement W.C. St. Louis, Missouri, U.S.A: Elsevier/Saunders. 2011: 734—737.
13. Carskadon M.A., Dement W.C. Daytime sleepiness: Quantification of a behavioral state. Neurosci. Biobehav. Rev. 1987. 11: 307—317.
14. Connor J., Norton R., Ameratunga S., Robinson E., Civil I., Dunn R., Bailey J., Jackson R. Driver sleepiness and the risk of serious injury to car occupants: population based case control study. Br. Med. J. 2002. 324: 1125—1129.
15. Cummings P., Koepsell T., Moffat J., Rivara F. Drowsiness, counter-measures to drowsiness, and the risk of motor vehicle crash. Injury Prevent. 2001. 7: 194—199.
16. Czeisler C.A. Impact of sleepiness and sleep deficiency on public health—utility of biomarkers. J. Clin. Sleep Med. 2011. 7(Suppl. 5): S6—S8.
17. Dawson D. Fatigue research in 2011: From the bench to practice. Accid. Anal. Prev. 2012. 45 : 1—5
18. De Pinho R.S., da Silva-Junior F.P., Bastos J.P.C., Maia W.S., de Mello M.T., de Bruin V.M., de Bruin P.F.C. Hypersomnolence and accidents in truck drivers: across-sectional study. Chronobiol. Int. 2006. 23: 963—971.
19. De Valck E., Cluydts R. Sleepiness as a state-trait phenomenon, comprising both a sleep drive and a wake drive. Med. Hypotheses. 2003. 60(4): 509—512.
20. Diekelmann S., Born J. The memory function of sleep. Nat. Rev. Neurosci. 2010. 11: 114—126.
21. Doran S.M., Van Dongen H.P.A., Dinges D.F. Sustained attention performance during sleep deprivation: evidence of state instability. Arch. Ital. Biol. 2001. 139: 253—267.
22. ETSC (1998). Forging roadsides. ETSC, Brussels Accessed, 8 April 2008. [http://www.etsc.be/oldsite/bri\\_road5.pdf](http://www.etsc.be/oldsite/bri_road5.pdf).
23. ETSC (2001). The role of driver fatigue in commercial road transport crashes. European Transport Safety Council ETSC, Brussels Accessed, 15 January 2008. <http://www.etsc.be/oldsite/drivfatigue.pdf>.
24. Fatigue — Web text Project co-financed by the European Commission, Directorate-General Transport and Energy 16/10/2009. [http://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist/knowledge/pdf/fatigue.pdf](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/pdf/fatigue.pdf).
25. Federal Motor Carrier Safety Administration, 1996. Commercial Motor Vehicle/Driver Fatigue and Alertness Study. Technical Summary. Washington, DC, U.S. Department of Transportation. <http://www.fmcsa.dot.gov/factsresearch/research-technology/publications/cmvfatiguestudy.htm>.
26. Fletcher A., McCulloch K., Baulk S.D., Dawson D. Countermeasures to driver fatigue: a review of public awareness campaigns and legal approaches. Austral. New Zealand J. Publ. Health. 2005. 29(5): 471—476.
27. Folkard S. Black times: temporal determinants of transport safety. Accid. Anal. Prevent. 1997. 29: 417—430.
28. Folkard S., Lombardi D.A., Spencer M.B. Estimating the circadian rhythm in the risk of occupational injuries and “accidents”. Chronobiol. Int. 2006. 23: 1181—1192.
29. Gander P., Hartley L., Powell D., Cabon P., Hitchcock E., Mills A., Popkin S. Fatigue risk management: Organizational factors at the regulatory and industry/company level. Accid. Anal. Prev. 2011. 43(2): 573—590.
30. Garbarino S., Mascialino B., Penco M.A., Squarcia S., De Carli F., Nobili L., Beelke M., Cuomo G., Ferrillo F. Professional shift-work drivers who adopt prophylactic naps can reduce the risk of car accidents during night work. Sleep. 2004. 27(7): 1295—1302.
31. Goel N., Dinges D.F. Behavioral and genetic markers of sleepiness. J. Clin. Sleep Med. 2011. 7(Suppl. 5): S19—S21.
32. Goel N., Rao H., Durmer J.S., Dinges D.F. Neurocognitive consequences of sleep deprivation. Semin. Neurol. 2009. 29: 320—339.
33. Gunzelmann G., Gross J.B., Gluck K.A., Dinges D.F. Sleep deprivation and sustained attention performance: integrating mathematical and cognitive modeling. Cogn. Sci. 2009. 33(5): 880—910.
34. Hanecke K., Tiedemann S., Nachreiner F., Grzech-Sukalo H. Accident risk as a function of hour at work and time of day as determined from accident data and exposure models for the German working population. Scand. J. Work Environ. Health. 1998. 24 (Suppl. 3): 43—48.
35. Hanowski R.J., Hickman J., Fumero M.C., Olson R.L., Dingus T.A. The sleep of commercial vehicle drivers under the 2003 hours-of-service regulations. Accid. Anal. Prev. 2007. 39: 1140—1145.
36. Hans P.A., Van Dongen H.P.A., Dinges D.F. Investigating the interaction between the homeostatic and circadian processes of sleep—wake regulation for the prediction of waking neurobehavioural performance J. Sleep Res. 2003. 12(3): 181—187.

37. *Harrison Y., Horne J.* The impact of sleep deprivation on decision making: A review. *J. Exp. Psychol.* 2000. 6: 236–249.
38. *Horne J., Baulk S.* Awareness of sleepiness when driving. *Psychophysiology.* 2004. 41(1): 161–165.
39. *Hossain J.L., Ahmad P., Reinish L.W., Kayumov L., Hossain N.K., Shapiro C.M.* Subjective fatigue and subjective sleepiness: two independent consequences of sleep disorders? *J. Sleep Res.* 2005. 14(3): 245–253.
40. Institute of Medicine. Sleep disorders and sleep deprivation. An unmet public health problem. Washington, DC: Nat. Acad. Sci. 2006: 24–35.
41. *Jones C.B., Dorrian J., Rajaratnam S.M.W., Dawson D.* Working hours regulations and fatigue in transportation: a comparative analysis. *Safety Sci.* 2005. 43: 225–252.
42. *Kaplan K.A., Itoi A., Dement W.C.* Awareness of sleepiness and ability to predict sleep onset: can drivers avoid falling asleep at the wheel? *Sleep Med.* 2007. 9: 71–79.
43. *Killgore W.D.S.* Effects of sleep deprivation on cognition. *Prog. Brain Res.* 2010. 185: 105–129.
44. *Klauer S., Dingus T., Neale V., Sudweeks J., Ramsey D.* The impact of driver inattention on near-crash/crash risk: an analysis using the 100-car naturalistic driving study data [NHTSA Report No. DOT HS 810 594]. Blacksburg, VA: Virginia Tech Transp. Inst. 2006: 123–167
45. *Klauer S., Sudweek, J., Hickman J., Neale V.* How risky is it? An Assessment of the Relative Risk of Engaging in Potentially Unsafe Driving Behaviors (AAA Foundation for Traffic Safety research report). Blacksburg, VA: Virginia Tech. Transp. Inst. 2006: 34–53.
46. *Krueger J.M., Rector D.M., Roy S., Van Dongen H.P., Belenky G., Panksepp J.* Sleep as a fundamental property of neuronal assemblies. *Nat. Rev. Neurosci.* 2008. 9(12): 910–919.
47. *Landrigan C.P., Rothschild J.M., Cronin J.W., Kaushal R., Burdick E., Katz J.T., Lilly C.M., Stone P.H., Lockley S.W., Bates D.W., Czeisler C.A.* Effect of reducing interns' work hours on serious medical errors in intensive care units. *N. Engl. J. Med.* 2004. 351(18): 1838–1848.
48. *Lim J., Dinges D.F.* A meta-analysis of the impact of short-term sleep deprivation on cognitive variables. *Psychol. Bull.* 2010. 136: 375–389.
49. *Lovato N., Leon Lack L.* The effects of napping on cognitive functioning. *Prog. Brain Res.* 2010. 185: 155–166.
50. *Macdonald I., Smith L., Lowe S.L., Folkard S.* Effects on accidents of time into shift and of short breaks between shifts. *Int. J. Occup. Environment. Health.* 1997. 3: S40–S45.
51. *Maruff P., Falleti M.G., Collie A., Darby D., McStephen M.* Fatigue-related impairment in the speed, accuracy and variability of psychomotor performance: comparison with blood alcohol levels. *J. Sleep Res.* 2005. 14(1): 21–27.
52. *May J.F.* Driver Fatigue. Ch. 21. *Handbook of Traffic Psychology.* Amsterdam: Elsevier, 2011: 287–297.
53. *May J.F., Baldwin C.L.* Driver fatigue: The importance of identifying causal factors of fatigue when considering detection and countermeasure technologies. *Transp. Res. Part F. Traffic Psychol. Behav.* 2009. 12(3): 218–224.
54. *Maycock G.* Sleepiness and driving: the experience of UK car drivers. *J. Sleep Res.* 1996. 5: 229–237.
55. *Miliaa L.D., Smolensky M.H., Costac G., Howarth H.D., Ohayone M.M., Philip P.* Demographic factors, fatigue, and driving accidents: An examination of the published literature. *Accid. Anal. Prevent.* 2011. 43: 516–532.
56. *Mitler M.M., Miller J.C., Lipsitz, J.J., Walsh J.K., Wylie C.D.* The sleep of longhaul truck drivers. *N. Engl. J. Med.* 1997. 337 (11): 755–762.
57. *Nabi H., Gueguen A., Chiron M., Lafont S., Zins M., Lagarde E.* Awareness of driving while sleepy and road traffic accidents: prospective study in GAZEL cohort. *Br. Med. J.* 2006. 333: 75 - 98.
58. National Transportation Safety Board. Safety Study: Factors that affect fatigue in heavy truck accidents. V. 1: Analysis (NTSB/SS-95/01). NTSB, Washington, DC. 1995: 1–46.
59. *Nordbakke S., Sageberg F.* Sleepy at the wheel: knowledge, symptoms and behaviour among car drivers. *Transp. Res.* 2007. 106. Part F: 1–10.
60. *Noy Y.I., Horrey W.J., Popkin S.M., Folkard S., Howarth H.D., Courtney T.K.* Future directions in fatigue and safety research. *Accid. Anal. Prev.* 2011. 43(2): 495–497.
61. *Oginski A., Oginska H., Pokorski J., Kmita W., Gozdziela R.* Internal and external factors influencing time-related injury risk in continuous shift work. *Int. J. Occup. Safety Ergonom.* 2000. 6: 405–421.
62. *Oken B.S., Salinsky M.C., Elsas S.M.* Vigilance, alertness, or sustained attention: physiological basis and measurement. *Clin. Neurophysiol.* 2006. 117(9): 1885–1901.
63. *Phipps-Nelson J., Redman J.R., Rajaratnam S.M.* Temporal profile of prolonged, night-time driving performance: breaks from driving temporarily reduce time-on-task fatigue but not sleepiness. *J. Sleep Res.* 2011. 20 (3): 404–415.
64. *Poey G.R., Walshz C.M., Bjorness E.T.* Cognitive neuroscience of sleep. *Prog. Brain Res.* 2010. 185: 1–19.
65. *Quan S.F.* Identification of a biomarker of sleep deficiency – Are we tilting windmills? *Southwest J. Pulm. Crit. Care.* 2012. 4: 58–60.
66. *Rector D.M., Schei J.L., Van Dongen H.P., Belenky G., Krueger J.M.* Physiological Markers of Local Sleep. *Eur. J. Neurosci.* 2009. 29(9): 1771–1778.
67. *Reyner L.A., Horne J.A.* Suppression of sleepiness in drivers: combination of caffeine with a short nap. *Psychophysiology.* 1997. 34(6): 721–725.
68. *Reyner L.A., Horne J.A.* Falling asleep whilst driving: are drivers aware of prior sleepiness? *Int. J. Legal Med.* 1998. 111(3): 120–123.

69. *Saper C.B., Fuller P.M., Pedersen N.P., Lu J., Scammell T.E.* Sleep state switching. *Neuron*. 2010. 68(6): 1023–1042.
70. *Schwarz J.F., Ingre M., Fors C., Anund A., Kecklund G., Taillard J., Philip P., Akerstedt T.* In-car countermeasures open window and music revisited on the real road: popular but hardly effective against driver sleepiness. *J. Sleep Res.* 2012. 21(5): 595–599.
71. *Shahid A., Shen J., Shapiro C.M.* Measurements of sleepiness and fatigue. *J. Psychosom. Res.* 2010. 69(1): 81–89.
72. *Shen J., Barbera J., Shapiro C.M.* Distinguishing sleepiness and fatigue: focus on definition and measurement. *Sleep Med. Rev.* 2006. 10(1): 63–76.
73. *Silva E.J., Wang W., Ronda J.M., Wyatt J.K., Duffly J.F.* Circadian and wake-dependent influences on subjective sleepiness, cognitive throughput, and reaction time performance in older and young adults. *Sleep*. 2010. 33: 481–490.
74. *Terán-Santos J., Jimenez-Gomez A., Cordero-Guevara J.* The association between sleep apnea and the risk of traffic accidents. *N. Engl. J. Med.* 1999. 340: 847–851.
75. *Timofeev I.* Local Origin of Slow EEG Waves during Sleep. *Журн. высш. нерв. деят.* 2013. 63(1): 105–112.
76. *Tkachenko O.N., Lavrova T.P., Silkis I.G., Dorokhov V.B.* Analysis of EEG changes during microsleep with open eyes associated with lapses in psychomotor test performance. *J. Sleep Res.* 2012. 21(Suppl.): 117.
77. *Tucker P., Lombardi D.A., Smith L., Folkard S.* The impact of rest breaks on temporal trends in injury risk. *Chronobiol. Int.* 2006. 23(6): 1423–1434.
78. *Tucker A.M., Whitney P., Belenky G., Hinson J.M., Van Dongen H.P.* Effects of sleep deprivation on dissociated components of executive functioning. *Sleep*. 2010. 33: 47–57.
79. *Van Dongen H.P.A., Hursh S.R.* Fatigue, performance, errors, and accidents. *Principles and Practice of Sleep Medicine*. 5<sup>th</sup> ed. Eds Kryger M.H., Roth T., Dement W.C. St. Louis, Missouri, U.S.A: Elsevier/Saunders. 2011: 753–759.
80. *Van Dongen H., Maislin G.* The cumulative cost of additional wakefulness: Dose-response effects on neurobehavioral functions and sleep physiology from chronic sleep restriction and total sleep deprivation. *Sleep*. 2003. 26: 117–126.
81. *Van Dongen H.P.A., Vitellaro K.M., Dinges D.F.* Individual differences in adult sleep and wakefulness: Leitmotif for a research agenda. *Sleep*. 2005. 28(4): 479–496.
82. *Vandewalle G., Archer S.N., Wuillaume C., Balteau E., Degueldre C., Luxen A.* Functional magnetic resonance imaging-assessed brain responses during an executive task depend on interaction of sleep homeostasis, circadian phase, and PER3 genotype. *J. Neurosci.* 2009. 29: 7948–7956.
83. *Vyazovskiy V.V.* Cortical Neuronal Mechanisms of Sleep Homeostasis. *Журн. высш. нерв. деят.* 2013. 63 (1): 13–23.
84. *Vyazovskiy V.V., Olcese U., Lazimy Y.M., Faraguna U., Esser S.K., Williams J.C., Cirelli C., Tononi G.* Cortical firing and sleep homeostasis. *Neuron*. 2009. 63: 865–878.
85. *Walker M.P., van der Helm E.* Overnight therapy? The role of sleep in emotional brain processing. *Psychol. Bull.* 2009. 135(5): 731–748.
86. *Walsh J.K., Dement W.C., Dinges D.F.* Sleep medicine, public policy, and public health. *Principles and Practice of Sleep Medicine*. 5<sup>th</sup> ed. Eds Kryger M.H., Roth T., Dement W.C. St. Louis, Missouri, U.S.A: Elsevier/Saunders. 2011: 716–724.
87. *Waterhouse J.* Circadian rhythms and cognition. *Prog. Brain Res.* 2010. 185: 155–166.
88. *Wharf H.L.* Shift length and safety. Report to British Coal. 1995: 1–12.
89. *Whitney P., Hinson J.M.* Measurement of cognition in studies of sleep deprivation. *Prog. Brain Res.* 2010. 185: 37–38.
90. *Williamson A.M., Feyer A.-M., Mattick R.P., Friswell R., Finlay-Brown S.* Developing measures of fatigue using an alcohol comparison to validate the effects of fatigue on performance. *Accid. Anal. Prev.* 2001. 33: 313–326.
91. *Williamson A., Lombard D.A., Folkard S., Stutts J., Courtney T.K., Connor J. L.* The link between fatigue and safety. *Accid. Anal. Prev.* 2011. 43: 498–515.
92. *Wright N.A., Stone B.M., Horberry T.J., Reed N.* A review of in-vehicle sleepiness detection devices. Published project Report 157. TRL Limited, UK, Crowthorne Accessed 29 January. 2008: [http://www.trl.co.uk/store/report\\_detail.asp?srid=6171&pid=211](http://www.trl.co.uk/store/report_detail.asp?srid=6171&pid=211)
93. *Yoo S.S., Gujar N., Hu P., Jolesz F.A., Walker M.P.* The human emotional brain without sleep – a prefrontal amygdala disconnect. *Curr. Biol.* 2007. 17: 877–878.
94. *Zhou X., Ferguson S.A., Matthews R.W., Sargent C., Darwent D., Kennaway D.J., Roach G.D.* Dynamics of neurobehavioral performance variability under forced desynchrony: evidence of state instability. *Sleep*. 2011. 34(1): 57–63.
95. *Zulley J., Wever R.A., Aschoff J.* The dependence of onset and duration of sleep on the circadian rhythm of rectal temperature. *Pflugers Arch.* 1981. 391(4): 314–318.