

УДК 622.8.313.1

В. Ю. ДЕРЕВЯНСКИЙ, зав. отд.,
В. А. СЕРГЕЕВ, мл. науч. сотрудник МакНИИ, г. Макеевка

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАКОНОВ И ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ТРАВМАТИЗМА

Выполнена классификация законов и закономерностей травматизма. На основе анализа литературных источников приведены примеры законов и закономерностей травматизма в соответствии с разработанной классификацией.

Ключевые слова: закон травматизма, закономерность травматизма, классификация, опасный производственный фактор, несчастный случай, охрана труда.

В настоящее время существуют различные подходы к исследованию и профилактике производственного травматизма. Одним из перспективных направлений является исследование законов (закономерностей) возникновения несчастных случаев (НС) и разработка на их основе эффективных методов, способов и средств управления безопасностью. Как показал анализ литературных источников [1-14], в теории и практике управления охраной труда (ОТ) известны и используются множество законов и закономерностей травматизма. Их отличительной чертой является существенное разнообразие. Поэтому законы (закономерности) травматизма необходимо классифицировать.

На основании изложенного, целью статьи является классификация законов и закономерностей травматизма.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

сформулировать определение терминов «закон травматизма» и «закономерность травматизма»;

выполнить классификацию законов (закономерностей) травматизма;

на основе анализа литературных источников привести примеры законов (закономерностей) травматизма в соответствии с разработанной классификацией.

С помощью литературных источников [15-16] сформулировано следующее определение термина «закон травматизма». Закон травматизма – это объективные и устойчивые связи и отношения в событиях, приведших

к возникновению НС (несчастных случаев), а также между явлением травматизма и природными, социальными и другими явлениями.

Закономерность травматизма – это некоторая повторяемость событий, свидетельствующая о существовании закона травматизма [15]. Иными словами, закономерности являются внешним проявлением внутренних законов травматизма. Установление в процессе научных исследований таких законов (закономерностей) позволяет описать, объяснить и прогнозировать НС и управлять на этой основе явлением травматизма.

Анализ литературных источников [1-14] позволил классифицировать законы (закономерности) травматизма по следующим основным признакам.

1. По масштабу действия:

действующие на уровне отдельно взятых НС;

действующие в статистической совокупности НС – статистические законы (закономерности).

2. По области действия классифицируются на описывающие (объясняющие):

опасный производственный фактор (ОПФ);

травмирующее воздействие ОПФ на человека;

травмоопасное поведение человека;

условия, при которых происходит НС;

управление ОТ в части профилактики травматизма.

3. По учету фактора времени:

статические – не учитывают фактор времени;

динамические – учитывают фактор времени.

4. По степени определенности:

детерминированные – носят строго определенный характер (например, если закон или закономерность выражены функциональной зависимостью, то каждому значению аргумента соответствует определенная величина функции);

стохастические – подобно законам квантовой механики [17], носят вероятностный характер. Это объясняется тем, что в явлении травматизма, также как и в явлениях, происходящих в микромире, присутствует фактор случайности. Кроме того, серьезным источником неопределенности служит значительное количество факторов, в разной степени влияющих на травматизм, что усложняет задачу получения детерминированных законов (закономерностей). Поэтому законы (закономерности) травматизма бывают стохастическими и могут формулироваться с использованием положений теории вероятностей (например, вероятность нахождения производственной системы в безопасном, потенциально опасном и опасном состоянии, вероятность перехода системы из одного состояния в другое и т. п.). В

законах (закономерностях) травматизма, выраженных уравнениями регрессии, с течением времени вид зависимости может оставаться неизменным, но могут изменяться значения входящих в них коэффициентов.

5. По форме представления на выраженные в таких формах:

языковая (словесная) – закон (закономерность) представлен в виде словесного описания;

знаковая (символьная) – закон (закономерность) выражен в виде уравнений (математических, логических и т.п.);

комбинированная – сочетание двух предыдущих форм.

Приведем примеры законов (закономерностей) травматизма с учетом области их действия (второй признак предложенной классификации).

Наиболее изученными являются законы (закономерности), описывающие ОПФ.

Теплофизические процессы и химическая кинетика аварийного взрыва метановоздушной смеси описываются системой уравнений [1]

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dw(t)}{dt} + Av(t) = 0 \\ \frac{dv(t)}{dt} = F(t) \\ \Delta Q_r(t) = \Delta H_r(t) \frac{N_{y.n.}}{N_r} \\ \frac{dC_{пс}}{dt} = \frac{1}{\tau} C_a(t) - C_{вн}(t_0) \\ v(t) = [P(t), \rho\delta(t), \rho w(t), \rho v(t), E(t)]^T \\ F(t=0) = (0, v, 0, 0)^T \end{array} \right. ,$$

где t – время взрывного процесса;

$w(t), v(t)$ – компоненты скорости, м/с;

A, F – нелинейный дифференциальный оператор;

$\Delta Q_r(t)$ – тепловыделение метановоздушной смеси в единице объема атмосферы, Вт;

$\Delta H_r(t)$ – теплотворная способность метановоздушной смеси;

N_r – теплоемкость метановоздушной смеси, Дж/(кг·К);

$N_{y.n.}$ – теплоемкость продуктов сгорания, Дж/(кг·К);

$C_{пс}$ – концентрация продуктов сгорания (ПС), мг/м³;

$C_a(t)$ и $C_{вн}(t_0)$ – концентрация ПС в зоне аэрации в момент t и в начальный момент t_0 , мг/м³;

τ – время газообмена в штольне, с;

$P(t)$ – избыточное давление взрыва метановоздушной смеси, Па;

ρ – плотность метановоздушной смеси, г/м³;

$\delta(t)$ – массовая доля метановоздушной смеси в атмосфере, %;

$E(t)$ – полная энергия взрывной волны, Дж;

v – массовая скорость образования метановоздушной смеси, г/(м²·с).

Полная энергия взрывной волны как движущей части газовой среды складывается из тепловой (E_T) и кинетической энергии (E_K) [1]:

$$E = E_T + E_K = \int_V \rho_G N_G (T_{II} - T_{HC}) dV + 0,5 \int_V \rho_G V^2 dV,$$

где V – объем ударной волны;

N_G – теплоемкость газовой среды;

ρ_G – плотность газовой среды.

Интенсивность теплового излучения [1]

$$I_{из} = \frac{0,3 Q_{CH_4} M_{np}}{4\pi r_{из}^2},$$

где Q_{CH_4} – удельная теплота сгорания метана, Вт/м³;

$r_{из}$ – расстояние от источника зажигания.

Нижний предел взрываемости взрывчатой угольной пыли со смесями горючих газов и паров жидкости определяется зависимостью [2]

$$(DGW)_C = (DGW)_П \left[\frac{C_G}{(DGW)_Г} - 1 \right]^2,$$

где $(DGW)_C$, $(DGW)_П$ и $(DGW)_Г$ – нижний предел взрывчатости гибридной смеси, пыли в воздухе и газа;

C_G – концентрация газа в гибридной смеси.

Склонность к самовозгоранию единичного скопления угля оценивается комплексным показателем, который выражен отношением массы очага самонагрева к площади его полной поверхности и вычисляется через теплофизические характеристики угля, вмещающих пород и воздуха, фильтрующегося через скопление угля [3]:

$$I = \frac{m_{ор}}{S_{ор}} > \frac{(T_{kp} - T_o) t_u (2K_\tau + \varepsilon \rho_g C_g V_n - 2K_\tau \varepsilon)}{2Q \bar{c} \bar{u} t_u - 2C_y (T_{kp} - T_o)},$$

где I – комплексный показатель пожароопасности, кг/м²;

$m_{ор}$ – масса очага в скоплении угля, кг;

$S_{ор}$ – площадь полной поверхности очага, м²;

T_{kp} – критическая температура самовозгорания угля, К;

T_o – температура вмещающих пород, К;
 t_u – инкубационный период самовозгорания угля, с;
 K_τ – коэффициент нестационарного теплообмена, Дж/(м²·с·К);
 ε – пористость;
 ρ_β – плотность воздуха, кг/м³;
 C_β – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К);
 V_n – пожароопасная скорость фильтрации воздуха через скопление угля, м/с;
 Q – теплота хемосорбции кислорода углем, Дж/м³;
 \bar{c} – объемная доля кислорода;
 \bar{u} – среднее значение удельной скорости сорбции кислорода углем в интервале температур $T_o \dots T_{кр}$, м³/(кг·с);
 C_y – удельная теплоемкость угля, Дж/(кг·К).

При разрушении сооружений и технических устройств длина трещины считается критической, если при ее развитии выделение упругой энергии больше затрат на пластическую деформацию [4]

$$R_C = Y(K_C / \sigma)^2,$$

где R_C – критическая длина трещины;
 $Y \cong 1$ – геометрический коэффициент;
 $K_C \cong 10 \div 10^2 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ – вязкость разрушения, характеризующая пластичность материала;
 σ – напряжение (считается, что разрушение происходит при превышении напряжением σ критического значения, называемого пределом прочности [4]).

Ниже даны примеры законов (закономерностей), описывающих травмирующее воздействие ОПФ на человека.

В работе [5] приведено уравнение для расчета травмирующей силы (иначе – силы удара) автомобиля

$$F = \frac{V^2 G}{254} k,$$

где F – травмирующая сила (сила удара), Н;
 V – скорость движения автомобиля, м/с;
 G – масса автомобиля, кг;
 k – коэффициент пропорциональности или поправочный коэффициент, который выражает отношение массы тела человека к массе автомобиля;
 254 – постоянное число, полученное эмпирическим путем.

Расчет доз радиационного облучения населения выполняется по формуле [6]

$$D = \frac{P_{cp} \cdot T}{K_o},$$

где D – доза, Р;

P_{cp} – средняя мощность дозы радиации в населенном пункте, Р/час;

T – продолжительность облучения населения, час;

K_o – коэффициент ослабления доз гамма – или гамма – нейтронного излучения.

Воздействие открытого огня на человека характеризуется плотностью теплового потока и определяется из выражения [7]

$$q = 5,6 \left[\left(\frac{T_{п}}{100} \right)^4 - K \right] \cdot \varepsilon_{п} \cdot \varphi \cdot \cos \beta,$$

где $T_{п}$ – температура открытого пламени;

K – коэффициент, для человека, одетого в костюм из хлопчатобумажной ткани $K = 85$;

φ – коэффициент облученности;

β – угол падения теплового потока;

$\varepsilon_{п}$ – приведенная степень черноты системы «пламя – человек».

Риск шахтера или горноспасателя, связанный с загрязнением воздуха рабочей зоны токсичными газами, согласно данным работы [8], возникает при следующих условиях: наличие источника риска (токсичный газ), присутствие этого источника риска в определенной вредной для организма концентрации, склонность человека к влиянию смертельной концентрации и дозы токсичного газа и т.п. Тяжесть поражения шахтера или горноспасателя газообразующими продуктами сгорания определяется из выражения [8]

$$LAIE = IR \cdot CCA \cdot ED / (BW \cdot LT),$$

где $LAIE$ – усредненная по времени ингаляционная токсичная доза;

IR – расход воздуха во время дыхания человека;

CCA – концентрация токсичного газа в воздухе;

ED – длительность экспозиции;

BW – масса тела человека;

LT – длительность жизни человека.

Нижний порог повреждения человека волной давления при взрыве принимается равным 5кПа. Избыточное давление в падающей ударной волне при взрыве метановоздушной смеси [9]

$$\Delta P(x) = \frac{P_0 \left[2\gamma_0 (\sigma_0 - 1) d_0^2 \right] X}{\sigma_0 [(1 + d_0) r_0]},$$

где P_0 – атмосферное давление, кПа;
 γ_0 – показатель изоэнтропы;
 σ_0 – степень расширения газов (продуктов взрыва);
 r_0 – радиус полусферического облака продуктов от взрыва;
 X – расстояние между эпицентром взрыва до места нахождения шахтера;
 d_0 – скорость горения метановоздушной смеси (для прохода в шахте).

Величина электрического тока, смертельного для человека, равна 0,1А. Уравнение для определения тока, протекающего через тело человека, характеризует воздействие данного ОПФ на пострадавшего [10]

$$I_h = \frac{U_{л}}{R_h} = \frac{\sqrt{3}U_{\phi}}{R_h},$$

где $U_{л}$ – линейное напряжение, В;
 U_{ϕ} – фазное напряжение, В;
 R_h – сопротивление тела человека, Ом.

Примером законов (закономерностей), описывающих травмоопасное поведение человека, могут служить результаты исследований психологии безопасности труда [11], устанавливающие связь травматизма с условиями труда, профессиональным утомлением, недостаточной подготовкой работника, несоответствием его индивидуальных психологических качеств требованиям выполняемой работы и т.п.

Примером законов (закономерностей), описывающих условия, при которых происходит НС, является условие достаточности нарушений требований ОТ (причин) для возникновения НС: к НС приводит не любая, произвольная, а только определенная комбинация нарушений требований ОТ (причин НС) [12]. Такая комбинация представляет собой элементарную конъюнкцию (логическое произведение) причин и называется ситуацией травмирования человека

$$K = x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_r,$$

где K – ситуация травмирования человека;
 x_1, x_2, \dots, x_r – нарушения требований ОТ, приведшие к НС (причины НС);

r – количество причин в ситуации травмирования (ранг конъюнкции).

Примером законов управления ОТ в части профилактики травматизма могут служить законы, приведенные в статье [13]. Приведем два из них.

Закон соответствия условий труда характеристикам человека. Этот закон обусловлен тем, что адаптационные возможности человека имеют определенные пределы. Поэтому при конструировании новой техники, проектировании технологических процессов и решении других задач безопас-

ности труда сначала необходимо проектировать деятельность человека – оператора, а затем технику (технология).

Закон управления уровнем ОТ устанавливает объективную необходимость и возможность управления показателями, характеризующими ОТ как систему. Управление осуществляется на плановой программно – целевой основе. Плановые показатели (цели) должны удовлетворять требованиям реальности, предметности, количественной определенности, адекватности, эффективности, контролируемости. Показатели выступают как способ интеграции действий, направленных на обеспечение безопасности [13].

Следующий пример – закон, сформулированный на основе приведенного выше условия достаточности нарушений требований ОТ (причин) для возникновения НС [12]. Он состоит в том, что «профилактика нарушений требований ОТ» и «профилактика НС» не являются тождественными высказываниями. Профилактика травматизма намного проще. Она не требует предотвращения абсолютно всех нарушений требований ОТ, а сводится к тому, чтобы не допустить появления хотя бы одного нарушения (причины НС) в ситуации травмирования человека.

Особую группу составляют статистические законы, действие которых проявляется только в совокупности НС. Примером статистических законов травматизма может служить закон 70 – 30 [14]. Согласно этому закону, в угольной отрасли Украины ежегодно около 70% случаев смертельного травматизма приходится, в среднем, на 30% угольных объединений и самостоятельных шахт. Аналогичное соотношение наблюдается и по ОПФ: 70% смертельных НС приходится на 30% факторов.

В завершение считаем необходимым отметить следующее. Среди специалистов – практиков и научных работников широкое распространение получило представление о подавляющей обусловленности случаев производственного травматизма «человеческим фактором» [18, 19, 20]. Аналогичные выводы распространены не только в нашей стране, но и за рубежом. В частности, исследования причин травматизма со смертельным исходом в Австралии показали наличие «человеческого фактора» более чем в 90% НС [21]. Иными словами, каждый НС в отдельности и явление травматизма в целом рассматриваются только как результат опасной деятельности человека. Такое объяснение случаев производственного травматизма не допускает существования законов и закономерностей возникновения НС, а следовательно, возможности их исследования и использования в профилактической работе. Наиболее простым способом доказательства существования законов (закономерностей) травматизма является эмпирический (греч. *empeiria* – опыт [22]), который заключается в следующем: если законы и закономерности травматизма известны, значит, они существуют [5, 22]. Примеры законов (закономерностей) травматизма, приведен-

ные в настоящей статье, служат эмпирическим доказательством их существования.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение законов (закономерностей) возникновения НС на предприятиях угольной отрасли Украины, и разработку на основе полученных результатов эффективных методов, способов и средств защиты шахтеров.

ВЫВОДЫ

В статье приведена классификация законов и закономерностей травматизма. На основе анализа литературных источников даны примеры законов и закономерностей травматизма в соответствии с разработанной классификацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров С. И. Моделирование параметров аварийного взрыва метана в шахте / С. И. Азаров, Г. А. Сорокин // Уголь Украины. – 2004. – № 6. – С.44 – 46.
2. Кабеш Ю. Прогнозирование состояния «сопряженных опасностей» / Ю. Кабеш // Уголь Украины. – 2002. – № 9. – С.44 – 46.
3. Перцев А. Ф. Комплексный показатель склонности к самовозгоранию скоплений угля / А. Ф. Перцев, В. К. Костенко, Г. А. Гусар // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД.– Донецк: Лебедь, 1998. – С. 22 – 27.
4. Петров В. А. Физические основы промышленной безопасности / В. А. Петров // Безопасность труда в промышленности. – 2005. – № 9. – С. 17 – 19.
5. Трубников В. Ф. Травматизм при дорожно-транспортных происшествиях / Трубников В. Ф., Истомин Г. П. – Харьков: Вища школа, 1977. – 192 с.
6. Медицина катастроф / [Черняков Г. О., Кочін І. В., Сидоренко П. І. и др.]; за ред. І. В. Кочіна. – К.: Здоров'я, 2001. – 352 с.
7. Азаров С. И. Анализ риска при пожаре в угольной шахте / С. И. Азаров // Уголь Украины. – 2001. – № 2–3. – С. 43–45.
8. Азаров С. І. Оцінка ризику ураження токсичними продуктами під час пожежі / С. І Азаров, В. І. Паламарчук, В. Л. Сидоренко // Уголь Украины. – 2009. – № 7. – С.25 – 27.
9. Азаров С. И. Расчет риска поражения шахтеров от аварийного взрыва / Азаров С. И., Сидоренко В. Л. // Уголь Украины. – 2010. – № 12. – С.39 – 40.

10. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках / П. А. Долин. – М.: Энергия, 1979. – 408с.
11. Платонов К. К. Вопросы психологии труда / К. К. Платонов. – М.: Медицина, 1970. – 264 с.
12. Деревянский В. Ю. Логико-вероятностные основы ситуационного управления безопасностью шахтных производственных систем / В. Ю. Деревянский // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка, 2010. – № 2 (26).– С. 144–157.
13. Русак О. Н. К теории безопасности труда / О. Н. Русак // Безопасность труда в промышленности. – 1982. – № 6. – С. 55 – 57.
14. В. Ю. Деревянский. Закон 70 – 30 в статистических распределениях травматизма по объединениям и факторам в угольной промышленности Украины / В. Ю. Деревянский, В. А. Сергеев // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ.– Макеевка, 2011. – №1 (27). – С. 129–136.
15. Философия: Часть вторая: Основные проблемы философии [учеб. пособие для вузов] / В. И. Кириллов, Н. Ф. Макаров, С. И. Попов, Н. И. Фокина; под ред. В. И. Кириллова. – М.: Юрист, 1999. – 304 с.
16. Иванова Т. Ю. Теория организации / Т. Ю. Иванова, В. И. Приходько. – СПб.: Питер, 2004. – 269 с.
17. Бережной Ю. А. Удивительный квантовый мир / Ю. А. Бережной. – К.: Мастер – класс, 2007. – 240 с.
18. Лёвкин Н. Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины / Н. Б. Лёвкин. – Донецк: Донбасс, 2002. – 392 с.
19. Теория и практика охраны труда на угольных шахтах / [Медведев Э. Н., Мартовицкий В. Д., Кашуба О. И. и др.]. – Луганск: Редакция газеты «Сбойка», 2006. – 602 с.
20. Барабаш В. И. Риск – причина аварийности и травматизма / В. И. Барабаш, О. Н. Терентьев // Безопасность труда в промышленности. – 1988. – № 6. – С. 62 – 64.
21. Варення Г. Человеческий фактор и травматизм / Г. Варення // Охрана труда. – 2001. – № 9. – С. 30 – 32.
22. Кириленко Г. Г. Философский словарь. Справочник студента / Г. Г. Кириленко, Е. В. Шевцов. – М.: Филологическое о-во «СЛОВО»; Изд-во АСТ, 2002. – 704 с.

Получено: 14.08.2012 г.

Виконано класифікацію законів і закономірностей травматизму. На основі аналізу літературних джерел наведено приклади законів і закономірностей травматизму відповідно до розробленої класифікації.

Ключові слова: закон травматизму, закономірність травматизму, класифікація, небезпечний виробничий фактор, нещасний випадок, охорона праці.

Classification of laws and conformities to law of traumatism is executed. On the basis of analysis of literary sources examples of laws and conformities to law of traumatism are made in accordance with the worked out classification.

Keywords: law of traumatism, conformity to law of traumatism, classification, dangerous productive factor, accident, labour protection.