

СИТУАЦИОННЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ШАХТНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

В.Ю. Деревянский, Государственный Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности (МакНИИ), Украина

Изложены общие теоретические положения ситуационного подхода к управлению безопасностью шахтных производственных систем.

В 2010 г. был введен в действие отраслевой стандарт СОУ – П 10.1.00174088.018: 2009 «Система управления производством и охраной труда в угольной промышленности Украины (типовое руководство)» (СУПОТ) [1], в котором нашли отражение требования аналогичных зарубежных стандартов, отечественный практический опыт, а также результаты теоретических исследований в области профилактики аварийности, травматизма и профессиональной заболеваемости на шахтах. Наиболее проработанными положениями СУПОТ являются общие требования и задачи СУПОТ, функции и структура управления, должностные обязанности и регламент действий работников при технологически нормальном и аварийном режимах работы. Проведенный анализ путей дальнейшего совершенствования СУПОТ показал: одним из перспективных направлений выступает исследование законов (закономерностей) возникновения несчастных случаев (НС) в условиях шахтных производственных систем (ШПрС) и разработка на этой основе эффективных методов управления безопасностью. Предположение о существовании таких законов (закономерностей), общих для случаев травматизма по разным опасным производственным факторам (ОПФ), основано на том, что каждый НС, независимо от травмирующего фактора, является частным проявлением одного и того же явления – явления травматизма.

Одними из первых вопросов, возникающих в практической деятельности и при проведении теоретических исследований в области профилактики НС, являются следующие: почему работа с нарушениями требований охраны труда (ОТ) не всегда заканчивается травмой? Почему в одних случаях при работе с нарушениями произошел НС, а в других (которых на практике гораздо больше) – нет? Ответ на них позволит повысить эффективность функционирования СУПОТ в части предупреждения производственного травматизма. Поэтому необходимо исследовать вышеназванную закономерность и разработать на ее основе общие теоретические положения ситуационного подхода к управлению безопасностью ШПрС.

Цель статьи – разработка общих теоретических положений ситуационного подхода к управлению безопасностью ШПрС.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

исследовать закономерность возникновения НС, которая заключается в том, что работа с нарушениями требований ОТ не всегда заканчивается травмированием работника;

на основе полученных результатов разработать общие теоретические положения ситуационного подхода к управлению безопасностью ШПрС.

Каждый случай производственного травматизма на угольных шахтах происходит в пределах определенной ШПрС, под которой в зависимости от зоны действия ОПФ понимается рабочее место, горная выработка, участок (сеть горных выработок), объект шахтной поверхности, шахта. Как показывает практика, к травмированию работника приводят нарушения требований ОТ, которые выступают в роли причин НС. В то же время, работа с нарушениями ОТ далеко не всегда заканчивается травмой. Это свидетельствует о существовании условия достаточности нарушений требований ОТ (причин) для возникновения НС: к НС приводит не любая, произвольная, а только определенная комбинация нарушений требований ОТ (причин НС). Такая комбинация представляет собой элементарную конъюнкцию (логическое произведение) причин и в последующем изложении именуется ситуацией травмирования человека (СТ)

$$K = x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_r, \quad (1)$$

где K – ситуация травмирования человека;

x_1, x_2, \dots, x_r – нарушения требований ОТ, приведшие к НС (причины НС);

r – количество причин в СТ (ранг конъюнкции).

Рассмотрим следующий пример. Допустим, что СТ состоит из четырех причин ($r = 4$):

отказ технологического (защищаемого) оборудования или авария машины (обозначим x_1);

отказ автоматического средства защиты (x_2);

нарушение требований ОТ исполнителем работ (x_3);

отсутствие контроля за безопасным ведением работ со стороны лица сменного надзора (x_4).

Для установления количества ситуаций с определенным числом нарушений требований ОТ (причин НС) используется выражение [2]

$$C_r^z = \frac{r!}{z!(r-z)!}, \quad (2)$$

где C_r^z – количество сочетаний из r элементов по z ;

z – количество нарушений требований ОТ в ситуациях, $z = 0, 1, 2, 3, 4$.

Общее количество возможных ситуаций в ШПрС для случая, когда СТ состоит из r причин [2]

$$\sum_{z=0}^r C_r^z = 2^r. \quad (3)$$

Для рассматриваемого примера

$$\sum_{z=0}^4 C_4^z = 2^4 = 16.$$

Таким образом, число возможных ситуаций в ШПрС равно 16-ти, из которых только одна приводит к НС. При равновероятном возникновении ситуаций, вероятность травмирования работника составляет 1/16 или 0,0625, что намного меньше вероятности работы без НС ($1 - 0,0625 = 0,9375$). Вероятность выполнения работ с нарушениями требований ОТ, которые не заканчиваются травмой, соответственно равна 0,875.

СТ является пределом эволюции ситуаций во времени в данной ШПрС. Наиболее простая ситуация не имеет нарушений требований ОТ. Промежуточное положение между ними занимают ситуации с одним, двумя и более (но меньше, чем в СТ) нарушениями требований ОТ. Ситуации определяют различные состояния ШПрС, которые характеризуют разную степень травмоопасности. Состояние, когда работы ведутся с соблюдением всех требований ОТ, условно назовем безопасным состоянием ШПрС. Состояние ШПрС, при котором происходит НС, можно определить как опасное состояние. Состояние, когда имеются нарушения требований ОТ, но НС не происходит, можно назвать потенциально опасным состоянием ШПрС. Перечень возможных ситуаций, характеризующих разные состояния ШПрС для случая, когда СТ состоит из четырех причин НС, приведен в табл. 1 (знак «+» означает наличие нарушения в данной ситуации, знак «-» указывает на его отсутствие).

Таблица 1. – Перечень возможных ситуаций, характеризующих разные состояния ШПрС

Порядковый номер ситуации	Нарушения требований охраны труда (причины НС)				Вероятность возникновения ситуации	Состояние ШПрС
	x_1	x_2	x_3	x_4		
1	–	–	–	–	0,379407	Безопасное
2	+	–	–	–	0,046893	Потенциально опасное
3	–	+	–	–	0,056693	
4	–	–	+	–	0,162603	
5	–	–	–	+	0,162603	
6	+	+	–	–	0,007007	
7	+	–	+	–	0,020097	
8	+	–	–	+	0,020097	
9	–	+	+	–	0,024297	
10	–	+	–	+	0,024297	
11	–	–	+	+	0,069687	
12	+	+	+	–	0,003003	
13	+	+	–	+	0,003003	
14	+	–	+	+	0,008613	
15	–	+	+	+	0,010413	
16	+	+	+	+	0,001287	Опасное

Приведенный пример с равновероятным возникновением всех ситуаций является очень упрощенным. Рассмотрим пример более приближенный к практике.

Перепишем условие возникновения НС (1) в символах и терминах теории вероятностей

$$Q_c = q_1 \cdot q_2 \cdot \dots \cdot q_r, \quad (4)$$

где Q_c – вероятность возникновения НС (вероятность отказа ШПрС);

q_1, q_2, \dots, q_r – вероятности возникновения нарушений требований ОТ (причин НС).

Вероятности возникновения нарушений требований ОТ (причин НС) вычисляются из выражения [3]

$$q_i = 1 - p_i,$$

где p_i – вероятность отсутствия нарушения ОТ (причины НС);

i – порядковый номер нарушения требований ОТ (причины НС) в ситуации.

Примем следующие исходные данные для СТ из четырех причин: $p_1 = 0,89$, $q_1 = 0,11$ (при экспоненциальном законе распределения времени наработки на отказ соответствует средней наработке на отказ, равной 6000 часов); $p_2 = 0,87$, $q_2 = 0,13$ (средняя наработка на отказ 5000 часов); $p_3 = p_4 = 0,7$, $q_3 = q_4 = 0,3$ (согласно результатов оценки надежности человека, изложенных в работах [4, 5, 6]). На основе этих значений и табл. 1 определим вероятности возникновения каждой ситуации.

Вероятность возникновения первой ситуации

$$P(K_1) = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4 = 0,379407.$$

Вероятность возникновения второй ситуации

$$P(K_2) = q_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4 = 0,046893.$$

Результаты вычислений сведены в табл. 1.

Количество нарушений требований ОТ (причин НС) в ситуации представляет собой дискретную случайную величину. Она характеризуется значениями, которые может принимать, и соответствующими им вероятностями. Соответствие между возможными значениями исследуемой дискретной случайной величины и их вероятностями выражает закон ее распределения. Закон распределения может быть задан в виде ряда и функции распределения. Для построения ряда распределения вычислим вероятности возникновения ситуаций с разным количеством нарушений требований ОТ, используя данные табл. 1.

Вероятность возникновения ситуации, в которой отсутствуют нарушения требований ОТ (P_0)

$$P_0 = P(K_1) = 0,379407.$$

Вероятность возникновения ситуации, в которой имеется одно нарушение требований ОТ (P_1)

$$P_1 = P(K_2) + P(K_3) + P(K_4) + P(K_5) = 0,428792.$$

Остальные значения получены аналогично и приведены в табл. 2.

Таблица 2. – Ряд распределения вероятностей возникновения ситуаций с разным количеством нарушений требований ОТ

Количество нарушений требований ОТ в ситуации (Z)	0	1	2	3	4
Вероятность возникновения (P)	0,379407	0,428792	0,165482	0,025032	0,001287

Таким образом, вероятность того, что НС не произойдет равна 0,998713. Соответственно, вероятность возникновения НС составляет 0,001287. Наиболее вероятным является потенциально опасное состояние ШПрС, характеризующееся в рассматриваемом примере работой с одним, двумя и тремя нарушениями требований ОТ ($P_1+P_2+P_3 = 0,619306$). Наибольшую вероятность возникновения имеют ситуации с одним нарушением требований ОТ ($P_1 = 0,428792$).

Итак, на основе изложенного можно сделать следующий вывод: работа с нарушениями требований ОТ без НС является не только возможной, но и наиболее вероятной.

Полученные результаты теоретических исследований закономерности травматизма, заключающейся в существовании условия достаточности нарушений требований ОТ (причин) для возникновения НС, объясняют, описывают и согласуются с практическими наблюдениями. Они позволили сформулировать общие теоретические положения ситуационного подхода к управлению безопасностью ШПрС, которые заключаются в следующем.

«Профилактика нарушений требований ОТ» и «профилактика НС» не являются тождественными высказываниями. Профилактика травматизма не требует предотвращения абсолютно всех нарушений требований ОТ, а сводится к тому, чтобы не допустить появления хотя бы одной причины НС в ситуации травмирования человека. Как показывает практика, в пределах одной ШПрС травматизм происходит по разным ОПФ вследствие множества ситуаций. Это множество для разных ШПрС включает большее или меньшее количество СТ, но это всегда конечное множество. При этом обнаруживается повторение одних и тех же причин НС в разных СТ. Устранив одну такую причину можно предотвратить травматизм сразу по нескольким СТ. Поэтому для того, чтобы предупредить травматизм в ШПрС достаточно

предотвратить не все, а только ограниченное число причин НС, которое в большинстве случаев меньше количества СТ в данной производственной системе.

Множество СТ в ШПрС условно назовем функцией опасности системы (ФОС). Анализ актов расследования (материалов специального расследования) случаев травматизма, происшедших по разным ОПФ в определенной ШПрС, позволяет установить достаточно полный перечень СТ и составить на их основе ФОС $y(x_i)$ в виде логической матрицы.

Рассмотрим вышеизложенное на примере. Допустим, ФОС характеризуется пятью СТ, в состав которых входят 14 причин НС, и описывается матрицей

$$y(x_1, x_2, \dots, x_{14}) = \begin{matrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \\ K_4 \\ K_5 \end{matrix} \left| \begin{matrix} x_1 x_2 x_3 \\ x_1 x_4 x_5 x_6 \\ x_7 x_8 x_9 \\ x_8 x_{10} x_{11} x_{12} \\ x_{13} x_{14} \end{matrix} \right. \quad (5)$$

Общее количество ситуаций в данной ШПрС, порождаемое 14-тью причинами НС в пяти СТ, определим из выражения (3)

$$\sum_{z=0}^{14} C_{14}^z = 2^{14} = 16384 .$$

Сделаем допущение, согласно которому в одной ШПрС невозможно одновременное возникновение двух и более СТ. Исключим из полученного значения ситуации, противоречащие этому допущению, и характеризующиеся одновременным наличием двух, трех, четырех и пяти СТ. Для определения их количества воспользуемся уравнением (2)

$$C_5^2 = \frac{5!}{2!(5-2)!} = \frac{120}{2 \cdot 6} = 10;$$

$$C_5^3 = \frac{5!}{3!(5-3)!} = \frac{120}{6 \cdot 2} = 10;$$

$$C_5^4 = \frac{5!}{4!(5-4)!} = \frac{120}{24 \cdot 1} = 5;$$

$$C_5^5 = 1.$$

Общее количество ситуаций, противоречащих сделанному допущению

$$C_5^2 + C_5^3 + C_5^4 + C_5^5 = 10 + 10 + 5 + 1 = 26.$$

Общее количество возможных ситуаций в данной ШПрС с учетом принятого допущения: $16384 - 26 = 16358$. Для предотвращения травматизма достаточно не допустить появления только пяти из них, что составляет 0,03 % от общего количества возможных ситуаций. Из ФОС (5) следует, что для предупреждения этих пяти СТ необходимо не допустить появление не всех 14-ти причин, а только трех из них: x_1 , x_8 и одной из причин x_{13} или x_{14} .

Приведенные выше теоретические положения позволили сформулировать закон ситуационного управления безопасностью ШПрС: управляющие воздействия субъекта управления

должны формироваться таким образом, чтобы в любой, произвольно выбранный, момент времени в ШПрС отсутствовали все известные ситуации травмирования человека. Для этого достаточно не допустить минимум по одной причине (нарушению требований ОТ) в каждой из названных ситуаций.

Анализируя разные ФОС можно обнаружить, что влияние причин на возникновение НС неодинаково, даже если они встречаются в ФОС равное количество раз. Это позволяет выполнить количественную оценку причин НС и составить их ранжированный ряд в порядке важности профилактики. Методика количественной оценки влияния причин на возникновение НС, использующая ситуационный подход, изложена в работе [7].

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку метода ситуационного управления безопасностью ШПрС, реализующего изложенные в данной работе общие теоретические положения.

Выводы

Исследована закономерность возникновения несчастных случаев, которая заключается в том, что работа с нарушениями требований охраны труда не всегда заканчивается травмированием работника. Сформулировано условие достаточности причин для возникновения несчастного случая. С помощью положений теории вероятностей доказано, что работа с нарушениями требований охраны труда без несчастных случаев является не только возможной, но и наиболее вероятной. Полученные результаты позволили сформулировать общие теоретические положения ситуационного подхода к управлению безопасностью шахтных производственных систем.

Список литературы

1. Система управления производством и охраной труда в угольной промышленности Украины (типовое руководство): СОУ – П 10.1.00174088.018: 2009. – Офиц. изд. – Макеевка: МакНИИ, 2010. – 317с. – (Нормативный документ Минуглепрома Украины).
2. Лавренчук В. П. Математика для економістів: теорія та застосування / В. П. Лавренчук, Т. І. Готинчан, В. С. Дронь, О. С. Кондур. – К.: Кондор, 2007. – 596 с.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов / Е. С. Вентцель. – М.: Высшая школа, 2001. – 575 с.
4. Гамхарашвили А. Г. Вероятностный подход к анализу некоторых причин производственного травматизма / А. Г. Гамхарашвили // Безопасность труда в промышленности. – 1979. – № 8. – С. 58 – 59.
5. Монмоллен М. Системы «человек – машина» / М. Монмоллен: Пер. с фр.– М.: Мир, 1973. – 256 с.
6. Деревянский В. Ю. Оценка надежности человека в условиях шахтных транспортных систем / В. Ю. Деревянский, В. А. Будишевский // Известия Донецкого горного института. – 1999. – № 1. – С. 48 – 50.
7. Деревянский В. Ю. К методике анализа причин производственного травматизма / В. Ю. Деревянский, В. А. Будишевский // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. научн. тр. / МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 1998. – С. 184 – 190.