

К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА НА ШАХТАХ**¹Шевченко В.Г., ²Носаль Д.А.**¹*Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, ² ООО «ДТЭК ЭНЕРГО»***ДО ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ НА ШАХТАХ****¹Шевченко В.Г., ²Носаль Д.О.**¹*Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, ² ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО»***ON THE ISSUE OF EVALUATING EFFICIENCY OF THE OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH MANAGEMENT SYSTEM IN MINES****¹Shevchenko V.G., ²Nosal D.A.**¹*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Polyakov NAS of Ukraine, ² «DTEK ENERGO» LLC*

Аннотация. В рамках функционирования системы управления охраной труда (СУОТ) на предприятиях бизнес-блока Уголь ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» разработано и внедрено ряд процедур и методик, направленных на совершенствование СУОТ. В тоже время травматизм и аварийность на предприятиях пока остаются на достаточно высоком уровне. Эффективность СУОТ предложено описывать катастрофой типа «сборка». Потенциальной функцией описывается эффективность функционирования СУОТ на шахте. В качестве координаты катастрофы выступает вероятность возникновения аварии (получения травмы), в качестве внешнего параметра выступает уровень развития технологии угледобычи, а внутренним параметром является уровень готовности горнорабочих к выполнению процессов и операций. С увеличением внутреннего управляющего параметра, характеризующего уровень готовности горнорабочих к выполнению основных и вспомогательных процессов и операций, вероятность аварии и травмы в целом снижается, однако данная кривая носит бифуркационный характер. При увеличении внешнего управляющего параметра – уровня развития технологии кривая сужается, ширина полосы катастрофы уменьшается. При достаточно высоком уровне развития технологии система находится только в одном состоянии равновесия, при переходе некоторого критического значения появляется расщепление и два альтернативных устойчивых состояния. Площадь кривой, ограниченной критическими значениями уровня готовности горнорабочих к выполнению технологических процессов и операций, определяет нежелательный эффект либо величину, обратную эффективности СУОТ на шахте. При недостаточно высоком уровне технологии можно получить катастрофу (высокую вероятность аварии) как при незначительном уровне готовности горнорабочих, так и при достаточно высоком уровне значения данного параметра. На практике, на каждой шахте параметры необходимо нормировать и задавать по результатам экспертной оценки; количественные показатели уровня готовности горнорабочих к выполнению процессов и операций можно получать путем психофизического тестирования.

Ключевые слова: охрана труда, угольная шахта, катастрофа типа «сборка», вероятность возникновения аварии, уровень развития технологии угледобычи, уровень готовности горнорабочих, бифуркация, эффективности системы управления охраной труда.

Одним из основных мероприятий по повышению уровня безопасности является внедрение систем управления производством и охраной труда, основанных на управлении рисками, что регламентируется рядом международных стандартов [1-3].

В рамках функционирования системы управления охраной труда (СУОТ) на предприятиях бизнес-блока Уголь ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» разработано и внедрено ряд процедур и методик, направленных на совершенствование СУОТ:

процедура идентификации опасностей и оценки рисков в области охраны труда; процедура классификации, анализа и реагирования на опасные действия; методика оценки руководителей угольной шахты в области охраны труда [4-6].

В тоже время травматизм и аварийность на предприятиях пока остаются на достаточно высоком уровне (табл. 1).

Таблица 1 - Статистика производственного травматизма

№ п.п.	Процесс	Количество производственных травм за последние 3 года
1	Выемка угля в очистном забое	1
2	Подготовка и крепление сопряжений	5
3	Задвижка приводных станций скребкового конвейера лавы	1
4	Доставка лесоматериалов материалов и металлокрепи	3
5	Погашение выработки	0
6	Обслуживание сборного и бортового штрека	0
7	Ремонт комбайна	0
8	Ремонт скребкового конвейера в лаве	1
9	Обслуживание и ремонт скребкового конвейера на сборном штреке	1
10	Ремонт механизированной крепи	3
11	Обслуживание и ремонт электроаппаратуры в лаве	0
12	Обслуживание и ремонт электроаппаратуры в штреке	1
13	Монтаж, демонтаж добычного оборудования	1
14	Буровзрывные работы	0
15	Крепление горной выработки анкерной крепью	1
16	Одноконцевая откатка	0
17	Проведение обеспыливающих мероприятий	0
18	Обслуживание и ремонт ПОТ и трубопровода сжатого воздуха	0
19	Сокращение рельсового пути	0
20	Работы на поверхности шахты	0
21	Передвижение и доставка людей по шахте, обследование выработок	4
22	Передвижение и доставка людей на поверхности	2
23	Передвижка энергопоезда	0
24	Подрывка почвы за лавой и впереди лавы	0
25	Управление почво поддирочной машиной	0
26	Ремонт и обслуживание почво поддирочной машины	0
27	Ведение очистных работ в опасной зоне геологического нарушения	1
28	Управление лебедкой	0
29	Разгазирование горных выработок	0
30	Монтаж-демонтаж лебедок	0
31	Снятие секций с жесткой базы	0
32	Откатка ОКНУ	0
33	Обслуживание и ремонт ленточных конвейеров	0
34	Сокращение ленты ленточного конвейера	0
35	Работы по монтажу-демонтажу подвесного монорельсового оборудования	0
36	Дизелевозная откатка	0
37	Ремонт и обслуживание дизель-гидравлического локомотива	0
38	Работа с офисной техникой	0
39	Поиск и складирование документов и материалов	0
40	Пользование электроприборами	0
41	Применение гидро (пневопилы) по металлу (дереву)	0
42	Работа с ручным инструментом	0
43	Покраска	0

Процедурами СУОТ предполагается плавное изменение внешних и внутренних условий (параметров управления рисками) (рис. 1).



Рисунок 1 - Процесс управления рисками

В тоже время возникающие случаи аварийности и травматизма носят скачкообразный характер и являются внезапными изменениями в ответ на плавное регулирование параметров СУОТ (внешних и/или внутренних условий). Такие внезапные изменения в системах называются катастрофами [7].

Проведенные авторами исследования показали, что риск (вероятность) получения травмы, возникновения аварии определяется как принятой технологией ведения горных работ в целом, так и специфическими особенностями выполнения основных и вспомогательных процессов и операций, характерными для каждой конкретной шахты, которые в свою очередь также обусловлены и индивидуальными особенностями горнорабочих. Уровень вероятности аварии или травмы определяет эффективность функционирования СУОТ на шахте.

Процессы описывающие скачкообразные изменения в системе в ответ на плавное регулирование внешних и внутренних условий, принято относить к катастрофам типа «сборка», потенциальная функция для которой имеет вид [7]

$$y = \frac{x^4}{4} - a \frac{x^2}{2} + bx, \quad (1)$$

где x - координата катастрофы; a - внешний управляющий параметр; b - внутренний управляющий параметр.

В данном случае потенциальной функцией описывается эффективность функционирования СУВОП на шахте. В качестве координаты катастрофы выступает вероятность возникновения аварии (получения травмы), в качестве внешнего параметра выступает уровень развития технологии угледобычи, а внутренним параметром характеризуются специфические особенности выполнения основных и вспомогательных процессов и операций, характерные для каждой конкретной шахты, которые в свою очередь также обусловлены индивидуальными особенностями горнорабочих, – уровень готовности горнорабочих к выполнению процессов и операций.

График потенциальной функции (1) – эффективности СУОТ при изменении вероятности возникновения аварии, уровня развития технологии и уровня готовности горнорабочих к выполнению основных и вспомогательных процессов и операций, обусловленных их индивидуальными особенностями, приведен на рис. 2. На графиках значения параметров нормированы от 0 до 100 %.

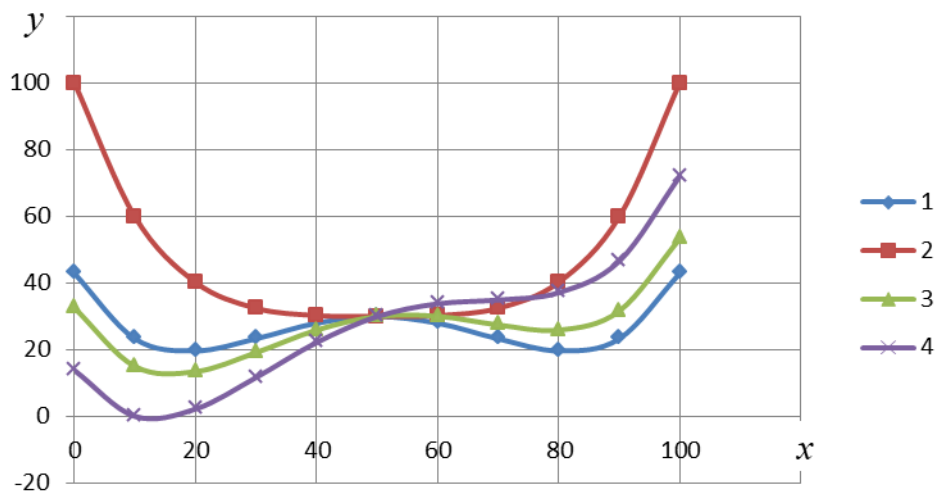


Рисунок 2 – График функции (1) при изменении параметров x , a и b

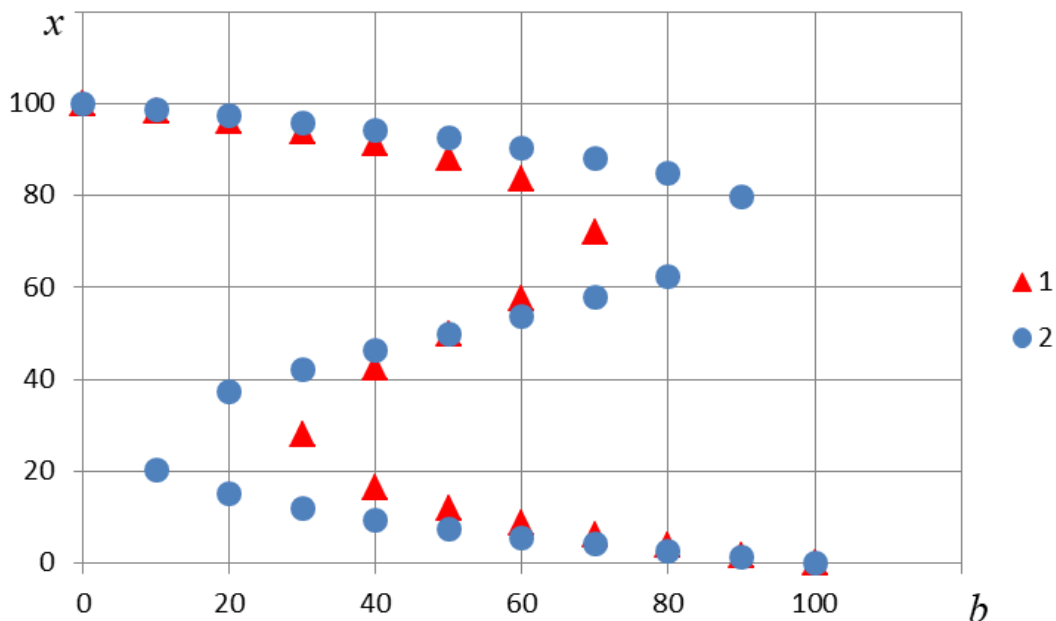
Так, для графика 1 характерно наличие трех состояний равновесия – двух устойчивых и одного неустойчивого, график симметричен относительно некоторого значения параметра x . График 2 характеризуется одним устойчивым состоянием. График 3 отражает нарушение состояния симметрии при возрастании параметра b , однако число состояний равновесия равно трем. На графике 4 при достижении параметром b некоторого критического значения $b_{кр} > \pm \sqrt{\frac{4a^3}{27}}$ [7] снова остается одно состояние равновесия. При изменении числа состояний равновесия происходит катастрофа.

Из анализа графиков видно, что координаты состояний равновесия x в свою очередь зависят от внешнего и внутреннего управляющих параметров a и b . Функция, определяющая такую зависимость, находится путем приравнивания первой производной функции (1) к 0 [7]

$$x^3 - ax + b = 0. \quad (2)$$

Вещественные корни x_i кубического уравнения (2) при изменении параметров a , b задают вид такой зависимости.

Графики зависимостей вероятности возникновения аварии x от уровня готовности горнорабочих к выполнению процессов и операций b при различных значениях параметра a - уровня развития технологии приведены на рис. 3. На графиках значения параметров нормированы от 0 до 100 %.



1 – более высокий уровень развития технологии; 2 - менее высокий уровень развития технологии

Рисунок 3 – Зависимость вероятности возникновения аварии от уровня готовности горнорабочих при различном уровне развития технологии

Графики имеют три ветви; две из них, верхняя и нижняя, соответствуют устойчивым состояниям, средняя ветвь – неустойчивому (см. рис. 2). Из неустойчивого состояния система может попасть как на нижнюю, так и на верхнюю ветвь (перейти в одно из устойчивых состояний). При достижении параметром b некоторых критических значений $b_{кр} > \pm \sqrt{\frac{4a^3}{27}}$ [7] графики имеют по одной ветви устойчивого состояния. Так, для графика 1 (более высокий уровень технологии) $b_{кр1}=30\%$, $b_{кр2}=70\%$, для графика 2 (менее высокий уровень развития технологии) $b_{кр1}=10\%$, $b_{кр2}=90\%$.

С увеличением внутреннего управляющего параметра – уровня готовности горнорабочих к выполнению процессов и операций вероятность аварии и травмы в целом снижается, однако данная кривая носит бифуркационный характер. Так, например, для первого графика (более высокий уровень развития технологии) при значении уровня готовности горнорабочих 30 % вероятность аварии может находиться как на уровне 30 % так и на уровне 90 %. Этим примером могут объясняться имеющие место случаи аварийности и

травматизма при плавном изменении (повышении) уровня готовности горнорабочих - совершенствовании СУОТ.

Из графиков также видно, что при увеличении внешнего управляющего параметра – уровня развития технологии a , кривая сужается - ширина полосы катастрофы уменьшается. Так, при достаточно высоком уровне развития технологии (превышении некоторого критического значения) $a > a_{кр}$ система находится только в одном состоянии равновесия, а при переходе некоторого критического значения появляется расщепление и два альтернативных устойчивых состояния. Площадь $(a \times b)$ кривой, ограниченной значениями $b_{кр} > \pm \sqrt{\frac{4a^3}{27}}$, определяет потенциальную функцию катастрофы – нежелательный эффект, либо величину обратную эффективности СУОТ.

Пример зависимости между внешним (уровнем развития технологии) и внутренним (уровнем готовности горнорабочих) управляющими параметрами приведен на рис. 4 [7].

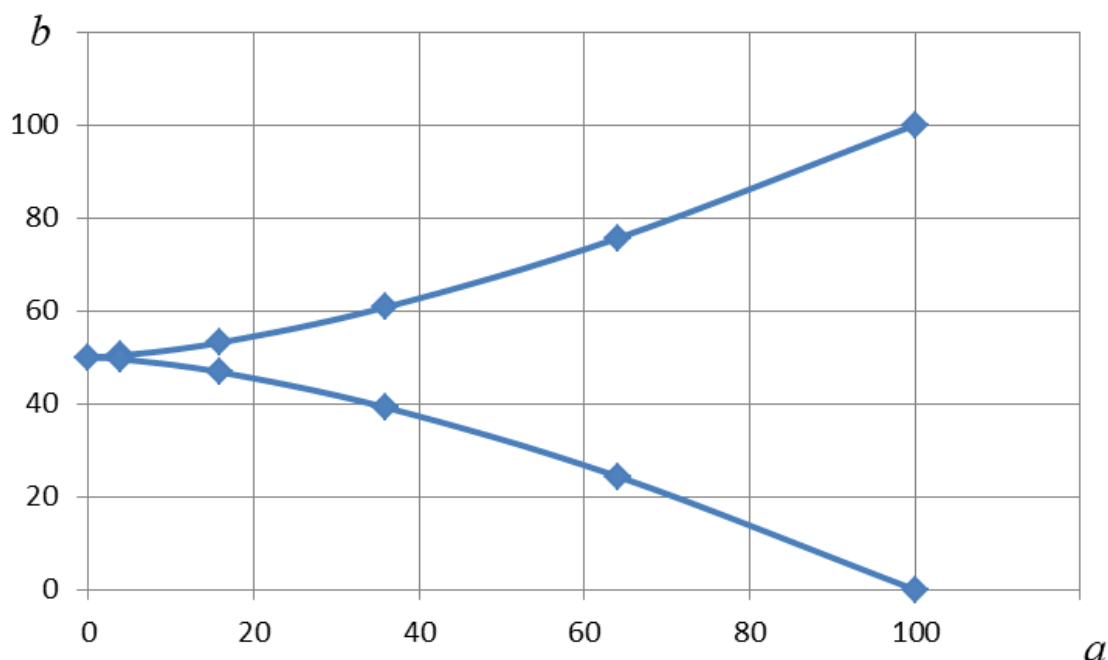


Рисунок 4 – Зависимость между уровнем развития технологии и уровнем готовности горнорабочих

Характер приведенной зависимости показывает, что при повышении уровня готовности горнорабочих за счет внедрения разного рода мероприятий, процедур и методик, направленных на совершенствование СУОТ, не всегда достигается однозначное повышение ее эффективности. Т.е. при плавном изменении параметра b и определенном значении параметра a может произойти катастрофа, т.е. переход на верхнюю ветвь кривой (см. рис. 3) и скачкообразное повышение вероятности аварии (травматизма). Т.е. при недостаточно высоком уровне технологии мы можем получить катастрофу (иметь высокую вероятность аварии) как при незначительном уровне

готовности горнорабочих, так и при достаточно высоком уровне значения данного параметра.

Приведенный анализ носит в большей степени качественный характер. На практике, на каждой конкретной шахте параметры необходимо нормировать (например от 0 до 100 %, как приведено на рисунках) и задавать по результатам экспертной оценки [8]. Точные количественные показатели уровня готовности горнорабочих к выполнению процессов и операций можно получать путем психофизического тестирования [9].

Выводы.

1. В рамках функционирования системы управления охраной труда на предприятиях бизнес-блока Уголь ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» разработано и внедрено ряд процедур и методик, направленных на совершенствование СУОТ. В тоже время травматизм и аварийность на предприятиях пока остаются на достаточно высоком уровне.

2. Процедурами СУОТ предполагается плавное изменение внешних и внутренних условий (параметров управления рисками). В тоже время возникающие случаи аварийности и травматизма носят скачкообразный характер и являются внезапными изменениями в ответ на плавное регулирование параметров СУОТ (внешних и/или внутренних условий).

3. Эффективность СУОТ предложено описывать катастрофой типа «сборка». Потенциальной функцией описывается эффективность функционирования СУВОП на шахте. В качестве координаты катастрофы выступает вероятность возникновения аварии (получения травмы), в качестве внешнего параметра выступает уровень развития технологии угледобычи, а внутренним параметром является уровень готовности горнорабочих к выполнению процессов и операций.

4. С увеличением внутреннего управляющего параметра, характеризующего уровень готовности горнорабочих к выполнению основных и вспомогательных процессов и операций, вероятность аварии и травмы в целом снижается, однако данная кривая носит бифуркационный характер. При увеличении внешнего управляющего параметра – уровня развития технологии кривая сужается, ширина полосы катастрофы уменьшается. Так, при достаточно высоком уровне развития технологии система находится только в одном состоянии равновесия, при переходе некоторого критического значения появляется расщепление и два альтернативных устойчивых состояния.

5. Площадь кривой, ограниченной критическими значениями уровня готовности горнорабочих к выполнению технологических процессов и операций, определяет нежелательный эффект, либо величину обратную эффективности системы управления охраной труда на шахте. При недостаточно высоком уровне технологии можно получить катастрофу (высокую вероятность аварии) как при незначительном уровне готовности горнорабочих, так и при достаточно высоком уровне значения данного параметра. На практике, на каждой шахте параметры необходимо нормировать и задавать по результатам экспертной оценки; количественные показатели уровня готовности

горнорабочих к выполнению процессов и операций можно получать путем психофизического тестирования.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) Системи управління якістю.
2. ДСТУ ОHSAS 18001:2010 Системи управління гігієною та безпекою праці. Вимоги.
3. ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use.
4. Шевченко В.Г., Носаль Д.А. Процедура идентификации опасностей и оценки рисков в области охраны труда // Геотехнічна механіка. 2018. Вип. 141. С. 190-203. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2018.141.190>.
5. Носаль Д.А., Шевченко В.Г. Процедура классификации, анализа и реагирования на опасные действия // Геотехнічна механіка. 2018. Вип. 143. С. 143-152. <https://doi.org/10.15407/geotm2018.143.143>.
6. Носаль Д.А., Шевченко В.Г. Методика оценки руководителей угольной шахты в области охраны труда // Геотехнічна механіка. 2019. Вип. 149. С. 77-88. <https://doi.org/10.15407/geotm2019.149.077>.
7. Арнольд В.И. Теория катастроф. М.: Наука, 1990. 128 с.
8. Грабовецкий Б.С. Методы экспертных оценок: теория, методология, напрямки використання: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2010. 171 с.
9. Шевченко В.Г. Научно-методические основы оценки психофизиологических характеристик руководителей участков угольной шахты. Монографія. Київ: Наукова думка. 2016. 256 с.

REFERENCES

1. DSTU ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) Systemy upravlinnia yakistiu.
2. DSTU OHSAS 18001:2010 Systemy upravlinnia hihienoiu ta bezpekoiu pratsi. Vymohy.
3. ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use.
4. Shevchenko V.G. and Nosal` D.A. (2018), "Procedure of authentication of dangers and estimation of risks in area of labour protection", *Geo-Technical Mechanics*. Vol. 141. Pp. 190-203. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2018.141.190>.
5. Nosal` D.A. and Shevchenko V.G. (2018), "Procedure of classification, analysis and reacting on dangerous effects", *Geo-Technical Mechanics*, Vol. 143. Pp. 143-152. DOI <https://doi.org/10.15407/geotm2018.143.143>.
6. Nosal` D.A., Shevchenko V.G. (2019), "Methodology of estimation of leaders of coal mine in area of labour protection", *Geo-Technical Mechanics*. Vol. 149. C. 77-88. DOI <https://doi.org/10.15407/geotm2019.149.077>.
7. Arnol`d V.I. (1990), *Teoriia katastrof*. [Theory of catastrophes], Nauka, Moscow, SU.
8. Grabovec`kij B.Ye. (2010), *Metody ekspertnykh otsenok: teoriia, metodologii, napriamky vykoristannsa* [Methods of expert estimations : theory, methodology, directions of the use], VNTU, Vinnytsia, UA.
9. Shevchenko V.G. (2016) *Nauchno-metodicheskie osnovy ocenki psikhofiziologicheskikh kharakteristik rukovoditelej uchastkov ugolnoj shakhty* [Scientific-methodical bases of estimation of psicho-fisiological descriptions of leaders of areas of coal mine], Naukova dumka, Kyiv, UA.

Об авторах

Шевченко Владимир Георгиевич, доктор технических наук, профессор, ученый секретарь, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, V.Shevchenko@nas.gov.ua.

Носаль Дмитрий Александрович, менеджер департамента охраны труда и промышленной безопасности дирекции по добыче угля ООО «ДТЭК ЭНЕРГО», Павлоград, Украина, NosalDA2@dtek.com.

About the authors

Shevchenko Volodimir Georgiiovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Scientific Secretary of the Institute, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov NAS of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, V.Shevchenko@nas.gov.ua.

Nosal Dmitro O., Manager of the Department of Labor Protection and Industrial Safety of the Coal Mining Directorate, DTEK ENERGO LLC, Pavlograd, Ukraine, NosalDA2@dtek.com.

Анотація. В рамках функціонування системи управління охороною праці (СУОП) на підприємствах бізнес-блоку Вугілля ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО» розроблено та впроваджено ряд процедур і методик, спрямованих на вдосконалення СУОП. У той же час травматизм і аварійність на підприємствах поки залишаються на досить високому рівні. Ефективність СУОП запропоновано описувати катастрофою типу «збірка». Потенційною функцією описується ефективність функціонування СУОП на шахті. Як координата катастрофи виступає ймовірність виникнення аварії (отримання травми), в якості зовнішнього параметра виступає рівень розвитку технології вуглевидобутку, а внутрішнім параметром є рівень готовності гірників до виконання процесів і операцій. Зі збільшенням внутрішнього керуючого параметра, що характеризує рівень готовності гірників до виконання основних і допоміжних процесів і операцій, ймовірність аварії і травми в цілому знижується, однак дана крива носить біфуркаційний характер. При збільшенні зовнішнього керуючого параметра - рівня розвитку технології крива звужується, ширина смуги катастрофи зменшується. При досить високому рівні розвитку технології система знаходиться тільки в одному стані рівноваги, при переході деякого критичного значення з'являється розщеплення

і два альтернативних стійких стану. Площа кривої, обмеженої критичними значеннями рівня готовності гірників до виконання технологічних процесів і операцій, визначає небажаний ефект, або величину зворотну ефективності СУОП на шахті. При недостатньо високому рівні технології можна отримати катастрофу (високу ймовірність аварії) як при незначному рівні готовності гірників, так і при досить високому рівні значення даного параметра. На практиці, на кожній шахті параметри необхідно унормувати і задавати за результатами експертної оцінки; кількісні показники рівня готовності гірників до виконання процесів і операцій можна отримувати шляхом психофізичного тестування.

Ключові слова: охорона праці, вугільна шахта, катастрофа типу «збірка», ймовірність виникнення аварії, рівень розвитку технології вуглевидобутку, рівень готовності гірників, біфуркація, ефективності системи управління охороною праці.

Annotation. In terms of occupational safety and health (OSH) management system functioning at the enterprises of the Coal Business Unit of DTEK ENERGO LLC, a number of procedures and techniques have been developed and implemented for improving the OSH management system. However, rate of injuries and accidents is still fairly high at these enterprises. It is proposed to describe effectiveness of the OSH management system as a catastrophe of the “assembly” type. It is further proposed to describe effectiveness of the OSH functioning in mine by a potential function. To this end, probability of an accident (injury) is considered as a coordinate of the disaster, level of development of the coal mining technology means an external parameter, and the internal parameter is presented by the level of readiness of miners to perform processes and operations. With increase of internal control parameter characterizing level of the miners’ readiness to perform basic and auxiliary processes and operations, probability of accident and injury generally decreases; however, this curve is bifurcated by its nature. With increase of external control parameter – i.e. level of technology development - the curve narrows, while width of the catastrophe band decreases. At sufficiently high level of technology development, the system exists only in one state of equilibrium; but when passing a certain critical value, splitting and two alternative stable states appear. The area of the curve, which is limited by critical values of the level of miners’ readiness to perform technological processes and operations, determines an undesirable effect or a value reciprocal to the OSH effectiveness in the mine. At insufficiently high level of technology, a catastrophe (high probability of an accident) can happen both at insignificant and sufficiently high level of the miners’ readiness. In practice, in each mine, these parameters should be normalized and set according to the results of expert evaluation; and quantitative indicators of the level of miner’s readiness to perform processes and operations can be obtained during the psychophysical testing.

Keywords: labor protection, coal mine, catastrophe of the “assembly” type, probability of an accident, level of development of coal mining technology, level of readiness of miners, bifurcation, effectiveness of the OSH management system.

Стаття надійшла до редакції 7.05. 2020

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук. В.І. Дирдюю