

11. Protopapadakis E., Stentoumis C., Doulamis N., Doulamis A., Loupos K., Makantasis K., Kopsiaftis G., Amditis A. Autonomous robotic inspection in tunnels. In: Proc of International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. – Vol. III-5. – pp. 167-174.
12. Scaioni M., Barazzetti L., Giussani A., Previtali M., Roncoroni F., Alba M.I. Photogrammetric techniques for monitoring tunnel deformation. Earth Science Informatics, Vol. 7, Issue 2, pp. 83–95.
13. Trevor Greening W. J., Robinson G.L., Robbins J.S., Ruland R.E. Control Surveys for Underground Construction of the Superconducting Super Collider. Stanford Linear Accelerator Center. pp. 267-274.
14. van Gosliga R., Lindenbergh R., Pfeifer, N. Deformation Analysis of a Bored Tunnel by Means of Terrestrial Laser Scanning. In: Proc of International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. – Vol. XXXV. – pp. 167-172.

Рукопис подано до редакції 01.10.2020

УДК 622.8.012.2:658.382.3

Д.А. НОСАЛЬ, менеджер, Ю.Н. ТРУБНИКОВ, руководитель

ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь»

В.Г. ШЕВЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ НАРУШЕНИЙ ПО ОСНОВНЫМ ТРАВМИРУЮЩИМ ФАКТОРАМ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Цель. Определение частоты нарушений по основным травмирующим факторам на угольных шахтах и установление закономерностей влияния количества нарушений, их частоты на уровень травматизма.

Методы. Анализ общего и смертельного травматизма проводился с помощью методов математической статистики, связь между параметрами устанавливалась методом регрессионного и корреляционного анализа.

Научная новизна. Впервые установлены закономерности изменения коэффициента частоты нарушений, числа нарушений и % числа несчастных случаев от количества нарушений, а также взаимосвязи между коэффициентом частоты нарушений и случаями травматизма по основным травмирующим факторам: «шахтный транспорт», «конвейерный транспорт», «машины и механизмы», «пылегазовый режим» и «взрывобезопасность».

Практическая значимость. Разработана методика определения коэффициента частоты нарушений, которая учитывает число нарушений и часы проверок.

Результаты. Проведен анализ общего и смертельного травматизма предприятий ББ Уголь ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» за 2019 год по следующим основным факторам: шахтный транспорт, конвейерный транспорт, машины и механизмы, падение при передвижении, обрушение породы, падание предметов, ручной инструмент, другие факторы. Определены закономерности изменения коэффициента частоты нарушений, числа нарушений и числа несчастных случаев от количества нарушений. В целом по всем предприятиям наибольший коэффициент частоты нарушений наблюдается по факторам «машины и механизмы», «конвейерный транспорт», «шахтный транспорт», наименьший – по факторам «пылегазовый режим» и «взрывобезопасность», что также характерно и для числа нарушений. % числа несчастных случаев от количества нарушений в целом и по фактору «шахтный транспорт» выше, чем по факторам «машины и механизмы» и «конвейерный транспорт». При наличии общих тенденций в преобладании нарушений по тем или иным факторам в целом для ББУ, для каждого конкретного ШУ нельзя сказать об устойчивых тенденциях изменения как коэффициента числа нарушений, числа нарушений и % числа несчастных случаев от количества нарушений. Также нельзя говорить о наличии устойчивой связи между числом нарушений и числом случаев травматизма для каждого конкретного ШУ.

Ключевые слова: безопасность, частота нарушений, случаи травматизма, травмирующие факторы, система управления охраной труда.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-16-24

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. 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. Одними из основных причин аварийности и травматизма являются нарушения нормативов (правил безопасности, инструкций, регламентов и пр.) ведения горных работ со стороны работников.

Анализ исследований и публикаций. Вопросам определения риска, его вероятности, управлению рисками на шахтах посвящены работы ученых из Китая, Мексики, Турции, Польши, Украины и других стран [7-13]. Различным аспектам управления рисками при добыче полезных ископаемых и повышения безопасности подземных горных работ посвящены работы [14-20].

Однако, до настоящего времени не исследованы вопросы определения частоты нарушений по основным травмирующим факторам и их влияния на травматизм на угольных шахтах.

Постановка задачи. Определение частоты нарушений по основным травмирующим факторам на угольных шахтах и установление закономерностей влияния количества нарушений, их частоты на уровень травматизма является актуальной научной задачей, которая имеет важное значение для повышения безопасности ведения горных работ.

Изложение материала и результаты. Проведен анализ общего и смертельного травматизма предприятий ББ Уголь ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» за 2019 год по следующим основным факторам: шахтный транспорт, конвейерный транспорт, машины и механизмы, падение при передвижении, обрушение породы, падение предметов, ручной инструмент, другие факторы. Результаты анализа приведены на рис. 1.

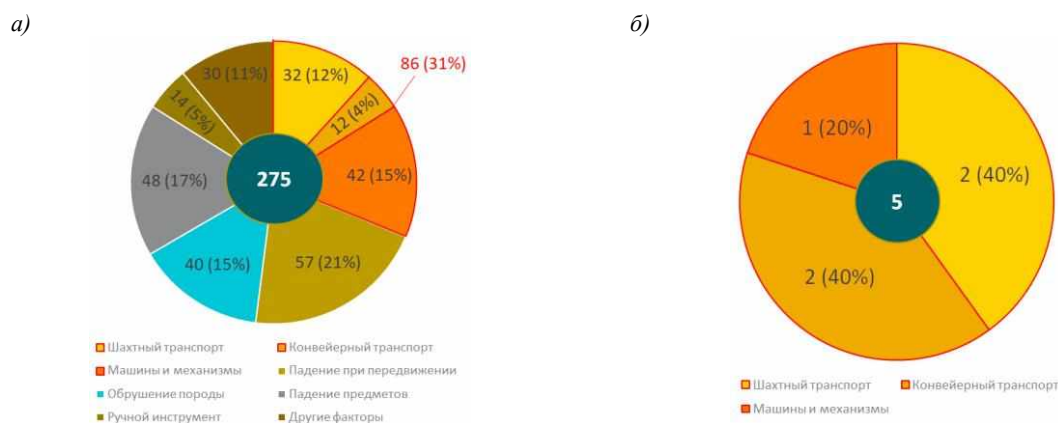


Рис. 1. Общий (а) и смертельный (б) травматизм по основным травмирующим факторам

Результаты анализа общего травматизма показывают, что за 2019 год допущено 275 несчастных случаев, из них по факторам «Шахтный транспорт», «Конвейерный транспорт», «Машины и механизмы» допущено 86 случаев, что составляет 31 % от общего числа травм.

Анализ смертельного травматизма показывает, что за 2019 год допущено 5 несчастных случаев со смертельным исходом, все по факторам «Шахтный транспорт», «Конвейерный транспорт», «Машины и механизмы».

Проведен расчет частоты нарушений по основным травмирующим факторам. Коэффициент частоты нарушений рассчитывается по формуле

$$K_{\text{чн}} = \frac{H}{T},$$

где H - общее количество нарушений; T - часы проверок, ч.

В табл. 1 приведен расчет коэффициента частоты нарушений по предприятиям ББ Уголь.

Таблица 1

Расчет коэффициента частоты нарушений			
Предприятие	Количество нарушений	Часы проверок, ч	Коэффициент частоты нарушений
ББУ	4120	5826	0,71
ШУ «Героев Космоса»	299	567	0,53
ШУ «Павлоградское»	436	756	0,58
ШУ «Терновское»	549	864	0,64
ШУ «Днепровское»	477	870	0,55
ШУ «Першотравенское»	422	915	0,46
ШУ «Добропольское»	663	1059	0,63
ШУ «Белозерское»	1274	795	1,60

На рис. 2 приведен пирамиды нарушений для ББУ и для каждого из предприятий.

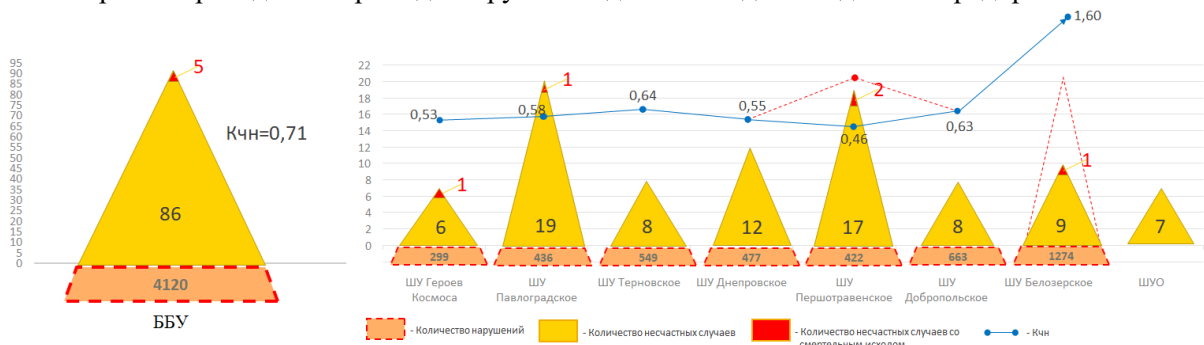


Рис. 2. Пирамиды нарушений

Анализ данных показывает, что наибольшее число нарушений наблюдалось на ШУ «Белозерское» (1274), ШУ «Добропольское» (663) и ШУ «Терновское» (549). Наибольшее количество несчастных случаев наблюдалось на ШУ «Павлоградское» (19), ШУ «Першотравенское» (17) и ШУ «Днепроовское» (12). Проведенный корреляционный анализ показывает, что связь между количеством нарушений и количеством несчастных и смертельных случаев незначительна (коэффициенты корреляции r составляют соответственно -0,24 и -0,06), в тоже время связь между количеством несчастных и смертельных случаев существует ($r = 0,51$).

Так, для ШУ «Павлоградское» число несчастных случаев составляло 4,35 % от количества нарушений, для ШУ «Першотравенское» - 4 %, а для ШУ «Белозерское», для которого наблюдалось наибольшее число нарушений и наибольший коэффициент числа нарушений, - всего 0,7 %. В целом для предприятий ББУ данный показатель составляет 2 %. Для предприятий, для которых соотношение между общим числом несчастных случаев и количеством нарушений наибольшее, первоочередное внимание следует уделять анализу и снижению рисков травматизма по основным травмирующим факторам.

В табл. 2 представлены данные о травматизме по фактору «шахтный транспорт» предприятий ББУ в период с 2016 по 2019 годы.

Таблица 2

Травматизм по фактору «шахтный транспорт»

Предприятие	Количество несчастных случаев	Количество смертельных случаев
ББУ	98	5
ШУ «Героев Космоса»	11	0
ШУ «Павлоградское»	17	0
ШУ «Терновское»	10	0
ШУ «Днепроовское»	11	0
ШУ «Першотравенское»	23	2
ШУ «Добропольское»	10	1
ШУ «Белозерское»	9	1
ШУ «Обуховская»	7	1

По годам общий травматизм распределился следующим образом: 2016 – 23 несчастных случая и 1 смертельный; 2017 – 31 и 0; 2018 – 14 и 2; 2019 – 30 и 2, соответственно. Для травматизма по фактору «шахтный транспорт» теснота связи между количеством несчастных и смертельных случаев невысокая ($r = 0,39$).

В табл. 3 приведен расчет коэффициента частоты нарушений по фактору «шахтный транспорт» в 2019 г.

Таблица 3

Расчет коэффициента частоты нарушений по фактору «шахтный транспорт»

Предприятие	Количество нарушений	Часы проверок, ч	Коэффициент частоты нарушений
ББУ	1472	1942	0,76
ШУ «Героев Космоса»	94	189	0,50
ШУ «Павлоградское»	226	252	0,90
ШУ «Терновское»	241	288	0,84
ШУ «Днепроовское»	199	290	0,69
ШУ «Першотравенское»	147	305	0,48
ШУ «Добропольское»	233	353	0,66
ШУ «Белозерское»	332	265	1,25

Пирамиды нарушений приведены на рис. 3.

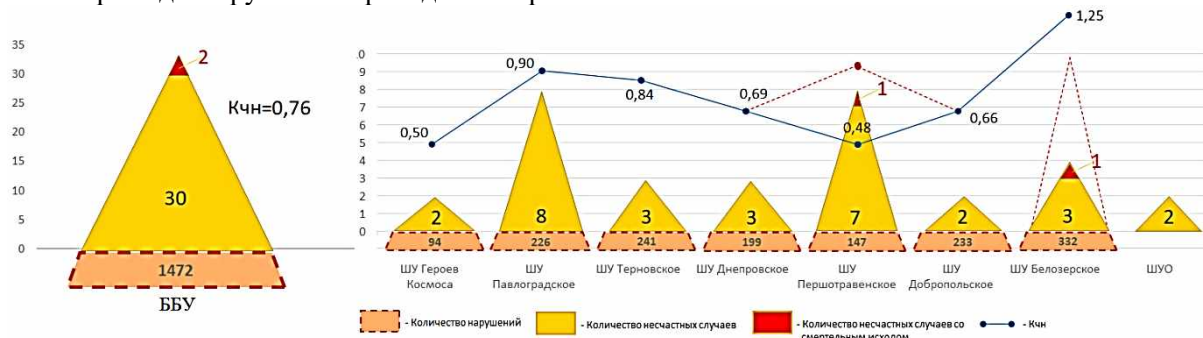


Рис. 3. Пирамиды нарушений по фактору «шахтный транспорт»

Анализ данных показывает, что наибольшее число нарушений по фактору «шахтный транспорт» наблюдалось на ШУ «Белозерское» (332), ШУ «Терновское» (241) и ШУ «Добропольское» (233). Наибольшее количество несчастных случаев наблюдалось на ШУ «Павлоградское» (8), ШУ «Першотравенское» (7), что практически совпадает с данными по общему числу нарушений. Проведенный корреляционный анализ показывает, что связь между количеством нарушений и количеством несчастных и смертельных случаев незначительна (коэффициенты корреляции r составляют соответственно -0,007 и 0,27), также незначительна связь между количеством несчастных и смертельных случаев ($r = 0,28$).

Так, для ШУ «Павлоградское» число несчастных случаев составляло 3,53 % от количества нарушений, для ШУ «Першотравенское» - 4,76 %, а для ШУ «Белозерское», для которого наблюдалось наибольшее число нарушений и наибольший коэффициент числа нарушений, - всего 0,9 %. В целом для предприятий ББУ данный показатель составляет 2 %. Статистический анализ данных по фактору «шахтный транспорт» практически совпадает с таким по общему травматизму по предприятиям ББ Уголь.

В табл. 4 представлены данные о травматизме по фактору «конвейерный транспорт» предприятий ББУ в период с 2016 по 2019 годы.

Таблица 4

Травматизм по фактору «конвейерный транспорт»

Предприятие	Количество несчастных случаев	Количество смертельных случаев
ББУ	31	5
ШУ «Героев Космоса»	2	1
ШУ «Павлоградское»	2	1
ШУ «Терновское»	5	0
ШУ «Днепроовское»	3	0
ШУ «Першотравенское»	7	2
ШУ «Добропольское»	6	0
ШУ «Белозерское»	2	0
ШУ «Обуховская»	4	1

По годам общий травматизм распределился следующим образом: 2016 – 8 несчастных случаев и 1 смертельный; 2017 – 8 и 1; 2018 – 5 и 1; 2019 – 10 и 2, соответственно. Для травматизма по фактору «конвейерный транспорт» теснота связи между количеством несчастных и смертельных случаев невысокая ($r = 0,26$).

В табл. 5 приведен расчет коэффициента частоты нарушений по фактору «конвейерный транспорт» в 2019 г.

Таблица 5

Расчет коэффициента частоты нарушений по фактору «конвейерный транспорт»

Предприятие	Количество нарушений	Часы проверок, ч	Коэффициент частоты нарушений
ББУ	1145	1942	0,59
ШУ «Героев Космоса»	92	189	0,49
ШУ «Павлоградское»	114	252	0,45
ШУ «Терновское»	124	288	0,43
ШУ «Днепроовское»	87	290	0,30
ШУ «Першотравенское»	99	305	0,32
ШУ «Добропольское»	208	353	0,59
ШУ «Белозерское»	421	265	1,59

Пирамиды нарушений приведены на рис. 5. Анализ данных показывает, что наибольшее число нарушений по фактору «конвейерный транспорт» наблюдалось на ШУ «Белозерское» (421), ШУ «Добропольское» (208) и ШУ «Терновское» (124). Наибольшее количество несчастных случаев наблюдалось на ШУ «Добропольское», ШУ «Першотравенское» и ШУ «Обуховская» - по 2. Проведенный корреляционный анализ показывает, что связь между количеством нарушений и количеством несчастных и смертельных случаев незначительна (коэффициенты корреляции r составляют соответственно 0,11 и -0,32), также незначительна связь между количеством несчастных и смертельных случаев ($r=0,35$).

Так, для ШУ «Павлоградское» число несчастных случаев составляло 0,87 % от количества нарушений, для ШУ «Героев Космоса» - 1,08 %, для ШУ «Першотравенское» - 2,02 %, а для ШУ «Белозерское», для которого наблюдалось наибольшее число нарушений и наибольший коэффициент числа нарушений, - всего 0,23 %. В целом для предприятий ББУ данный показатель составляет 0,87 %. Результаты статистического анализа данных по фактору «конвейерный транспорт» во многом совпадают с таковыми по общему травматизму и по травматизму по фактору «шахтный транспорт».

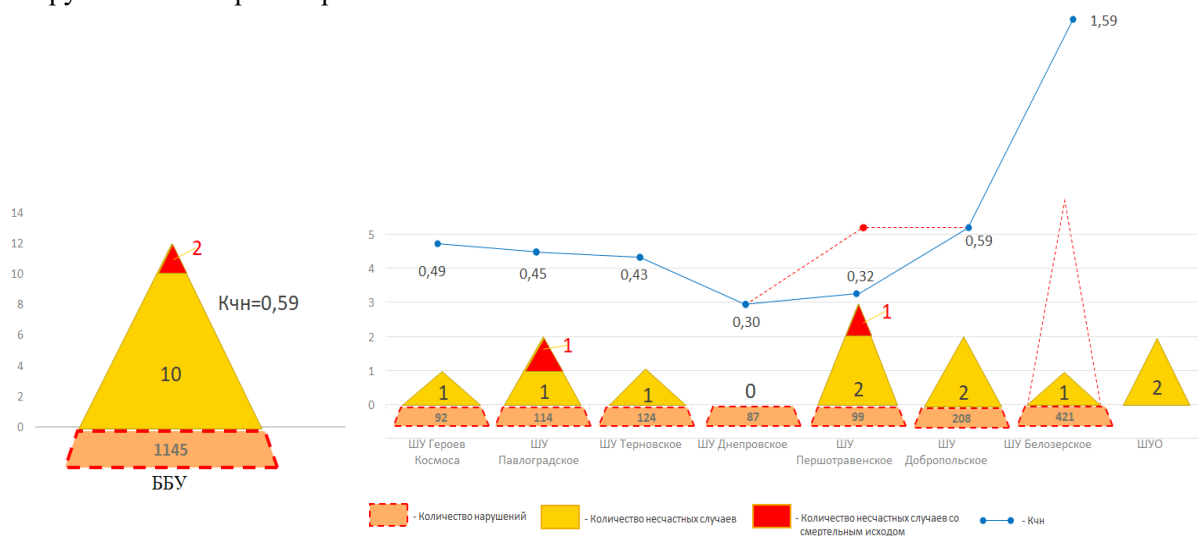


Рис. 4. Пирамиды нарушений по фактору «конвейерный транспорт»

В табл. 6 представлены данные о травматизме по фактору «машины и механизмы» предприятий ББУ в период с 2016 по 2019 годы.

Таблица 6

Травматизм по фактору «машины и механизмы»

Предприятие	Количество несчастных случаев	Количество смертельных случаев
ББУ	160	4
ШУ «Героев Космоса»	15	3
ШУ «Павлоградское»	37	1
ШУ «Терновское»	13	0
ШУ «Днепропетровское»	30	0
ШУ «Першотравенское»	22	0
ШУ «Добропольское»	15	0
ШУ «Белозерское»	19	0
ШУ «Обуховская»	9	0

По годам общий травматизм распределился следующим образом: 2016 – 50 несчастных случаев и 0 смертельных; 2017 – 37 и 0; 2018 – 32 и 3; 2019 – 41 и 1, соответственно. Для травматизма по фактору «машины и механизмы» теснота связи между количеством несчастных и смертельных случаев невысокая ($r=0,02$).

В табл. 7 приведен расчет коэффициента частоты нарушений по фактору «машины и механизмы» в 2019 г.

Таблиця 7

Расчет коэффициента частоты нарушений по фактору «машины и механизмы»

Предприятие	Количество нарушений	Часы проверок, ч	Коэффициент частоты нарушений
ББУ	1503	1942	0,77
ШУ «Героев Космоса»	113	189	0,60
ШУ «Павлоградское»	96	252	0,38
ШУ «Терновское»	184	288	0,64
ШУ «Днепровское»	191	290	0,66
ШУ «Першотравенское»	176	305	0,58
ШУ «Добропольское»	222	353	0,63
ШУ «Белозерское»	521	265	1,97

Пирамиды нарушений приведены на рис. 5. Анализ данных показывает, что наибольшее число нарушений по фактору «машины и механизмы» наблюдалось на ШУ «Белозерское» (521), ШУ «Добропольское» (222) и ШУ «Днепровское» (191). Наибольшее количество несчастных случаев наблюдалось на ШУ «Павлоградское» (9), ШУ «Днепровское» (9) и ШУ «Першотравенское» (6). Проведенный корреляционный анализ показывает, что связь между количеством нарушений и количеством несчастных и смертельных случаев незначительна (коэффициенты корреляции r составляют соответственно -0,25 и -0,31), однако связь между количеством несчастных и смертельных случаев существует ($r = -0,56$).

Так, для ШУ «Павлоградское» число несчастных случаев составляло 9,37 % от количества нарушений, для ШУ «Днепровское» - 4,7 %, для ШУ «Першотравенское» - 3,4 %, а для ШУ «Белозерское», для которого наблюдалось наибольшее число нарушений и наибольший коэффициент числа нарушений, - всего 0,76 %. В целом для предприятий ББУ данный показатель составляет 0,66 %. Результаты статистического анализа данных по фактору «машины и механизмы» во многом совпадают с таковыми по общему травматизму, по травматизму по факторам «шахтный транспорт» и «конвейерный транспорт».

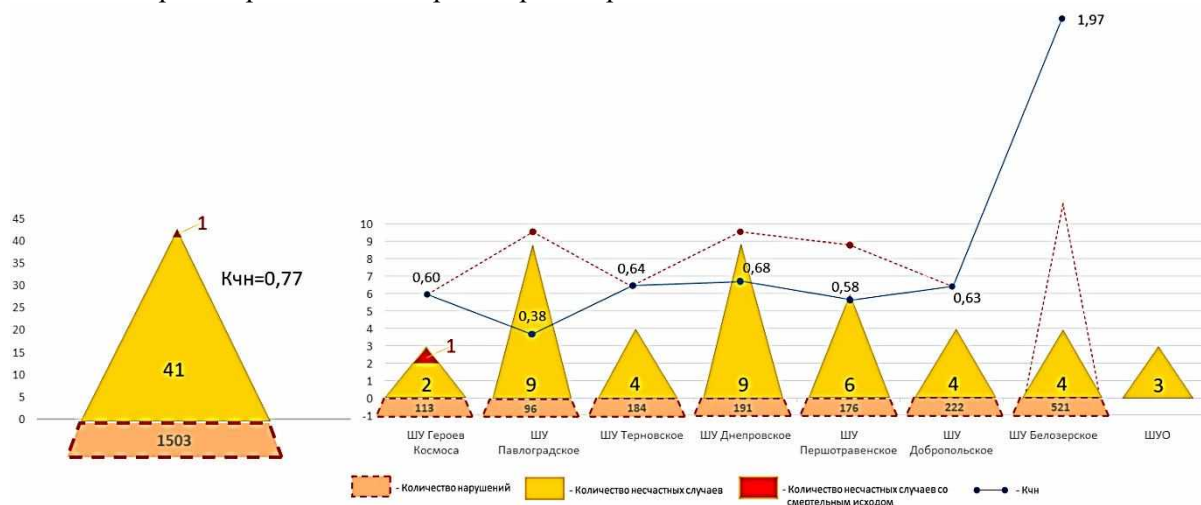


Рис. 5. Пирамиды нарушений по фактору «машины и механизмы»

В табл. 7 и 8 приведены расчеты коэффициента частоты нарушений по факторам «пылегазовый режим» и «взрывобезопасность» в 2019 г.

Таблиця 7

Расчет коэффициента частоты нарушений по фактору «пылегазовый режим»

Предприятие	Количество нарушений	Часы проверок, ч	Коэффициент частоты нарушений
ББУ	373	1942	0,19
ШУ «Героев Космоса»	48	189	0,25
ШУ «Павлоградское»	90	252	0,36
ШУ «Терновское»	51	288	0,18
ШУ «Днепровское»	69	290	0,24
ШУ «Першотравенское»	62	305	0,20
ШУ «Добропольское»	34	353	0,10
ШУ «Белозерское»	19	265	0,07

Расчет коэффициента частоты нарушений по фактору «взрывобезопасность»

Предприятие	Количество нарушений	Часы проверок, ч	Коэффициент частоты нарушений
ББУ	333	1942	0,17
ШУ «Героев Космоса»	67	189	0,35
ШУ «Павлоградское»	29	252	0,12
ШУ «Терновское»	50	288	0,17
ШУ «Днепровское»	27	290	0,09
ШУ «Першотравенское»	26	305	0,09
ШУ «Добропольское»	53	353	0,15
ШУ «Белозерское»	81	265	0,31

Графики изменения коэффициента частоты нарушений приведены на рис. 6. Анализ данных показывает, что наибольшее число нарушений по фактору «пылегазовый режим» наблюдалось на ШУ «Павлоградское» (90), ШУ «Днепровское» (69) и ШУ «Першотравенское» (62); по фактору «взрывобезопасность» на ШУ «Белозерское» (81), ШУ «Героев Космоса» (67) и ШУ «Добропольское» (53). Наибольший коэффициент частоты нарушений был по фактору «пылегазовый режим» для ШУ «Павлоградское» (0,36), ШУ «Героев Космоса» (0,25) и ШУ «Днепровское» (0,24); по фактору «взрывобезопасность» для ШУ «Героев Космоса» (0,35), ШУ «Белозерское» (0,31) и ШУ «Терновское» (0,17).

На рис. 7 приведены значения коэффициента частоты нарушений, числа нарушений (Q_n) и % числа несчастных случаев от количества нарушений в целом и по каждому из факторов.

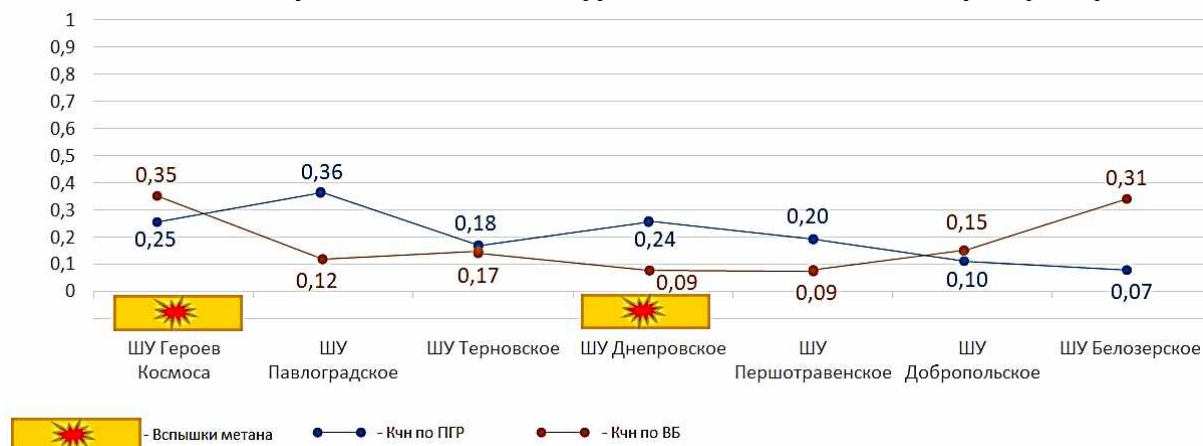


Рис. 6. Изменение коэффициента частоты нарушений по факторам «пылегазовый режим» и «взрывобезопасность»

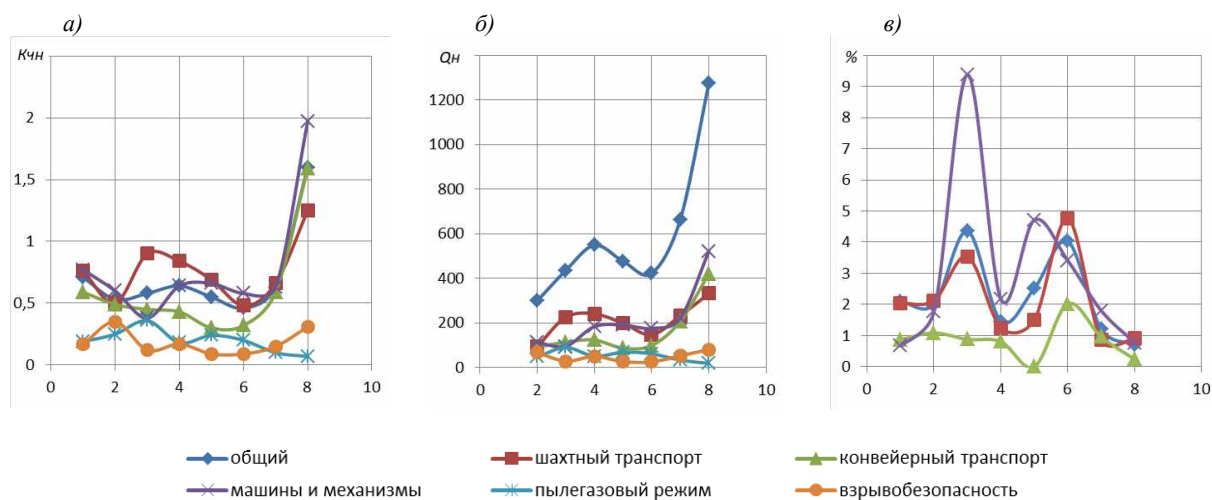


Рис. 7. Изменение коэффициента частоты нарушений (а), числа нарушений (б) и % числа несчастных случаев от количества нарушений (в): 1 – ББУ; 2 – ШУ «Героев Космоса»; 3 – ШУ «Павлоградское»; 4 – ШУ «Терновское»; 5 – ШУ «Днепровское»; 6 – ШУ «Першотравенское»; 7 – ШУ «Добропольское»; 8 – ШУ «Белозерское»

Анализ данных показывает, что максимальное значение коэффициента частоты нарушений в целом и по таким факторам, как «машины и механизмы», «конвейерный транспорт», «шахтный транспорт» у ШУ «Белозерское», в то время как значения данного показателя по фактору «взрывобезопасность» одно из наименьших. Значения числа нарушений для данного ШУ по этим же факторам также одни из наиболее высоких. В тоже время % числа несчастных случаев от количества нарушений для ШУ «Белозерское» по всем факторам одно из наименьших.

Одни из наиболее низких значений коэффициента частоты нарушений в целом и по каждому из факторов у ШУ «Першотравенское». В тоже время для данного ШУ значения числа нарушений и % числа несчастных случаев от количества нарушений одни из самых высоких по всем факторам.

Для ШУ «Павлоградское» наибольшее значение коэффициента частоты нарушений по фактору «шахтный транспорт», а одно из наименьших по фактору «машины и механизмы», в то время как % числа несчастных случаев от количества нарушений для данного ШУ по фактору «машины и механизмы» в несколько раз выше для всех остальных предприятий и ББУ в целом.

В целом по ББУ наибольший коэффициент частоты нарушений наблюдается по факторам «машины и механизмы», «конвейерный транспорт», «шахтный транспорт», наименьший – по факторам «пылегазовый режим» и «взрывобезопасность», что также характерно и для числа нарушений. % числа несчастных случаев от количества нарушений в целом и по фактору «шахтный транспорт» выше, чем по факторам «машины и механизмы» и «конвейерный транспорт».

Выводы и направление дальнейших исследований. При наличии тенденций в преобладании нарушений по тем или иным факторам в целом для ББУ, для каждого конкретного ШУ нельзя сказать об устойчивых тенденциях изменения как коэффициента числа нарушений, числа нарушений, так и % числа несчастных случаев от количества нарушений. Также нельзя говорить о наличии устойчивой связи между числом нарушений и числом случаев травматизма для каждого конкретного ШУ. Направление дальнейших исследований должно предполагать непрерывное совершенствование процедур и методик системы управления охраной труда в первую очередь в направлении поиска и выявления причин аварий и травматизма в условиях каждого конкретного ШУ.

Список литературы

1. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) Системи управління якістю.
2. ДСТУ OHSAS 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. Парханьски Ю. Риск травматизма рабочих угольных шахт и его гистерезис // Записки горного института. 2016. Т. 222. С. 869-876. DOI: [10.18454/PMI.2016.6.869](https://doi.org/10.18454/PMI.2016.6.869).
8. Практическое использование методики количественной оценки рисков травматизма «Вероятность-Вред-Риск» (ВВР) на примере АО «СУЭК-Кузбасс» / В.В. Лисовский, Ю.М. Иванов, А.С. Ворошилов, Г.Е. Седелников, Х.У. Ли. Уголь. 2018, № 12. С. 41-48. DOI: [http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-12-41-46](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-12-41-46).
9. Apurna Kumar Ghosh, Ashis Bhattacharjee. Predictors of occupational injuries among coal miners: Causal analysis / *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology*. 2007. 116(1). Pp. 16-24. DOI: [10.1179/174328607X161879](https://doi.org/10.1179/174328607X161879).
10. Satar Mahdevari, Kourosh Shahriar, Akbar Esfahanipour. Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS / *Science of The Total Environment*. 2014. Vol. 488-489C(1). Pp. 85-99. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.076>.
11. Analysis of the factors influencing the level of professional health and the biological age of miners during underground mining of coal seams / S. Cheberiachko, Yu. Cheberiachko, V. Sotskov, O. Tytov // *Mining of Mineral Deposits*. 2018. 12(3). Pp. 87-96. <https://doi.org/10.15407/mining12.03.087>.
12. Evaluating Targeted Intervention on Coal Miners' Unsafe Behavior / Ruipeng Tong, Yanwei Zhang, Yunyun Yang, Qingli Jia, Xiaofei Ma, Guohua Shao // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2019. Vol. 16. Pp. 422; DOI: [10.3390/ijerph16030422](https://doi.org/10.3390/ijerph16030422).
13. Analysis and evaluation of risks in underground mining using the decision matrix risk-assessment (DMRA) technique, in Guanajuato, Mexico / Claudia Rivera Domínguez, Ignacio Villanueva Martínez, Paloma María Piñón Peña, Adolfo Rodríguez Ochoa // *Journal of Sustainable Mining*. 2019. Vol. 18. Pp. 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2019.01.001>.

14. Mancini L., Sala S. Social impact assessment in the mining sector: Review and comparison of indicators frameworks / Resources Policy. 2018. Vol. 57. Pp. 98-111. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.02.002>.
15. Amirshenava S., Osanloo M. Mine closure risk management: An integration of 3D risk model and MCDM techniques / Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 184. Pp. 389-401. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.186>.
16. Geotechnical Risk Management Concept for Intelligent Deep Mines / R.K. Mishra, M. Janiszewski, L.K.T. Uotinen, M. Szydłowska, T. Siren, M. Rinne // Procedia Engineering. 2017. Vol. 191. Pp. 361-368. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.192>.
17. Towards sustainability in underground coal mine closure contexts: A methodology proposal for environmental risk management / A. Krzemień, A.S. Sánchez, P.R. Fernández, K. Zimmermann, F.G. Coto // Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 139. Pp. 1044-1056. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.149>.
18. Examining psychosocial and physical hazards in the Ghanaian mining industry and their implications for employees' safety experience / K. Amponsah-Tawiah, A. Jain, S. Leka, D. Hollis, T. Cox // Journal of Safety Research. 2013. Vol. 45. Pp. 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2013.01.003>.
19. Stochastic modeling of accident risks associated with an underground coal mine in Turkey / M. Sari, A.S. Selcuk, C. Karpuz, H.S.B. Duzgun // Safety Science. 2009. Vol. 47(1). Pp. 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.12.004>.
20. Duzgun H.S.B., Einstein H.H. Assessment and management of roof fall risks in underground coal mines / Safety Science. 2004. Vol. 42(1). Pp. 23-41. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(02\)00067-X](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(02)00067-X).

Рукопись поступила в редакцию 06.10.2020

УДК 621.929.6:622.781

В. Й. ЗАСЕЛЬСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.,
Д. В. ПОПОЛОВ, І. В. ЗАСЕЛЬСЬКИЙ, кандидати техн. наук, доценти
Технологічний навчально-науковий інститут
Державного університету економіки та технологій
М. І. ШЕПЕЛЕНКО, асп., Криворізький національний університет

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ВИТРАТ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ «РОТОРНИЙ ЗМІШУВАЧ-КОНВЕЄР»

Мета. Сучасні технологічні схеми металургійного виробництва передбачають підготовку шихтових матеріалів до спікання та випалу де важливою складовою є процес змішування, для якого може бути застосований роторний змішувач безперервної горизонтально-направленої дії. Мета роботи полягає в проведенні детального аналізу конструктивних робочих вузлів роторного змішувача безперервної горизонтально-направленої дії та сформулювати алгоритм розрахунку енергосилових витрат, які були затрачені на формування гомогенної шихтової суміші з урахуванням вібраційного впливу на конвеєрну стрічку, яка подає матеріал на змішування.

Методи. Методика досліджень в даній науковій праці включає аналітичне дослідження яке виконувалось на основі представлення динаміки руху матеріальної точки і твердих тіл, що рухаються в вібраційній горизонтальній площині та обертаються навколо нерухомої осі з застосуванням математичного моделювання.

Наукова новизна. Вперше для технічної системи «роторний змішувач-конвеєр» отримані залежності, що пов'язують кінематичні, конструктивні параметри роторного змішувача та вібраційні коливання конвеєрної стрічки, які впливають на енергетичні витрати по змішуванню матеріалу. Також розроблена загальна методика розрахунку енергосилових витрат робочого органу змішувача. З аналізу встановлено, що застосування гнучкого тросового елемента в конструктиві роторного змішувача з додаванням вібраційного впливу на конвеєрну стрічку значно зменшить супротив другого по ходу матеріалу ротора та підвищить якість отриманої суміші.

Практична значимість. В статті наведено конструктивний вузол системи роторний змішувач безперервної горизонтально-направленої дії та стрічковий конвеєр, також запропонована методика розрахунку її енергосилових витрат. Встановлений зв'язок між кінематичними та конструктивними елементами робочого органу змішувача, висотою шару транспортуючого матеріалу та коливаннями конвеєрної стрічки, які впливають на енерговитрати при підготовці суміші.

Результати. В результаті розробки методики розрахунку визначено основні енергозатратні вузли змішувача; наведена методика розрахунку витраченої енергії при взаємодії робочих органів змішувача з шихтовим матеріалом.

Ключові слова: змішувач, матеріал, лопатка, технічний об'єкт, робочий орган, ротор, розрахунок, змішувач, технічна система, конвеєр.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-51-24-29

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Вдосконалення змішувачів, як базисного устаткування для підготовки компонентів шихти, є перспективним шляхом.