

УДК 622.271.4.012.3

Е.А. НЕСМАШНЫЙ, д-р техн. наук, проф., Г.И. ТКАЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.
Криворожский национальный университет
А.В. БОЛОТНИКОВ, канд. техн. наук, Академия горных наук Украины

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВ КАРЬЕРА ЧАО «ИНГОК» НА ПРЕДЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

Цель. Для определения предельных углов наклона ярусов и бортов внешних отвалов №1 и № 5 на предельных контурах, обеспечивающих углубку карьера Ингулецкого горно-обогатительного комбината до отм. -600 м выполнены комплексные геомеханические расчеты по определению степени устойчивости уступов, групп уступов и бортов карьера. Обоснованы геометрические параметры вышеуказанных горных выработок, сооружаемых как в песчано-глинистых, так и скальных породных массивах и показано, что степень их устойчивости соответствует нормативным требованиям.

Методы исследований. Авторами был выполнен цикл проектных работ, в том числе и работы, посвященные геомеханическому обоснованию конечных контуров карьера ЧАО «ИнГОК», которое выполняло КП «Академический Дом» Академии горных наук Украины. Для решения поставленных задач был проведен анализ работ как по инженерно-геологической разведке месторождения и определения прочностных свойств песчано-глинистых и скальных пород, так и работ по оценке устойчивости бортов Ингулецкого карьера за период с начала его освоения и до настоящего времени.

Научная новизна. Обоснованы максимально допустимые углы наклона уступов, групп уступов и бортов Ингулецкого карьера, что является основой выбора для оптимального технического решения на конец отработки месторождения.

Практическая ценность. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы для дальнейшего развития методов исследования геомеханических процессов в массивах горных пород, что позволит обеспечить экономическую эффективность горных работ, а также промышленную и экологическую безопасность.

Результаты. Построенные расчетные вертикальные разрезы бортов и групп уступов карьера ЧАО «ИнГОК» с учетом пространственного залегания скальных и песчано-глинистых породных массивов, с нанесенными на них вероятными поверхностями скольжения и формой расчетных блоков, рассмотрены в нескольких вариантах. В результате выполненных геомеханических расчетов установлено, что все конечные контура карьера и внешних отвалов №1 и №5 ЧАО «ИнГОК» обладают достаточной степенью устойчивости и отвечают правилам охраны труда при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, т.к. значения полученных коэффициентов запаса устойчивости не ниже нормативных.

Ключевые слова: предельный контур, угол наклона борта карьера, устойчивость, коэффициент запаса устойчивости.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-46-20-25

Проблема и ее связь с практическими задачами. Развитие открытых горных работ на Криворожских карьерах, в современных условиях, характеризуется целым рядом неблагоприятных факторов. Это и значительное увеличение глубины добычных работ (практически все карьеры Кривбаса ведут добычу железной руды на глубинах более 350 м), отсутствие свободных земельных отводов для размещения внешних отвалов, нестабильное финансово-экономическое положение на мировых рынках железорудного сырья, непостоянная законодательная база в сфере налогообложения и финансов. Недостаточная эффективность научных положений, используемых в традиционных методиках геомеханических расчетов, объясняется отсутствием единого комплексного подхода к решению проблем оползневых явлений для глубоких железорудных карьеров.

В этих условиях возникает проблема оперативной корректировки конечных контуров карьеров и отвалов для уточнения как величины геологических запасов полезного ископаемого, так и финансово-производственных показателей, обеспечивающих рентабельную добычу и переработку железных руд.

Анализ исследований и публикаций. Анализ материалов геологоразведочных и доразведочных работ, проведенных на Ингулецком месторождении показывает, что накопленные сведения об инженерно-геологических условиях разработки месторождения, необходимые для геомеханических расчетов степени устойчивости бортов карьера, недостаточны. Их объем и полнота существенно отстают от темпов расширения границ открытых горных работ как по простиранию, так и по глубине. За последние 20-25 лет не было проведено ни одной комплексной научно-исследовательской работы по определению показателей физико-механических

свойств пород месторождения. Для решения выше указанных задач, применительно к карьере Ингулецкого ГОКа, в 2014-2017 гг ГП «ГПИ «Кривбаспроект» был выполнен цикл проектных работ, в том числе и работы, посвященные геомеханическому обоснованию конечных контуров карьера ЧАО «ИнГЭК», которое выполняло КП «Академический Дом» Академии горных наук Украины.

Для решения поставленных задач, в первую очередь был проведен анализ работ как по инженерно-геологической разведке месторождения и определения прочностных свойств песчано-глинистых и скальных пород, так и работ по оценке устойчивости бортов Ингулецкого карьера за период с начала его освоения и до настоящего времени [1-3, 5-7].

В результате были установлены прочностные характеристики горных пород Ингулецкого месторождения, значения которых необходимы для проведения геомеханических расчетов по определению степени устойчивости открытых горных выработок, существующих на Ингулецком карьере.

В обобщенном виде результаты выполненного анализа можно сформулировать так:

к наиболее крепким породам месторождения можно отнести мигматиты и кварциты магнетитовые, молекулярное сцепление которых колеблется в пределах 20-35 МПа, угол внутреннего трения $38-41^\circ$;

гранат-хлорит-биотит-кварц-куммингтонитовые сланцы можно отнести к породам средней крепости с показателями сцепления 10-15 МПа и угла внутреннего трения $35-40^\circ$, к особенностям данных пород можно отнести сложную структуру напластования, в следствии чего прочность как в крест напластования, так и по напластованию высокая;

джеспилиты нижних горизонтов характеризуются показателями угла внутреннего трения $38-42^\circ$, сцепление находится в пределах 15 – 18 МПа для магнетитовых, 7-10 МПа для гематит-магнетитовых;

показатели сцепления для пород первого и второго сланцевого горизонта в крест напластованию составляют около 15 МПа, по напластованию 4-5 МПа, угол внутреннего трения $38-40^\circ$ и $37-38^\circ$ соответственно;

породы пятого сланцевого горизонта характеризуются значительным снижением прочностных свойств в направлении напластования. Сцепление по напластованию в пределах 2-3 МПа, в крест напластования 13-15 МПа;

актинолит-талковые сланцы и филлиты характеризуются низкими показателями угла внутреннего трения $16-18^\circ$ при средних показателях сцепления 10-12 МПа;

окисленные породы, джеспилиты и кварциты имеют более низкие показатели прочности, сцепление находится в пределах 6-9 МПа, угол внутреннего трения $39-40^\circ$;

породы второго железистого горизонта на верхних горизонтах имеют значительно более низкие показатели прочности 5-7 МПа в крест напластованию, 3-4 МПа по напластованию;

выветрелые слюдястые сланцы, филлитовые сланцы, кварц-талк-хлоритовые сланцы необходимо отнести к полускальным слабым породам, показатель сцепления которых колеблется от 0,5 до 2,5 МПа в крест напластованию и значительно падает в направлении напластования до 0,1 МПа, угол внутреннего трения $26-30^\circ$;

к наиболее слабым породам относятся каолины и кора выветривания гранитов, сцепление 0,1-0,2 МПа, угол внутреннего трения $29-30^\circ$.

Изложение выполненных работ. При выполнении геомеханических расчетов по определению максимально допустимых углов наклона уступов, групп уступов и бортов Ингулецкого карьера мы руководствовались проектным решением ГП «ГПИ «КРИВБАСПРОЕКТ» о положении горных работ в карьере (см. рис. 1) и на внешних отвалах (см. рис. 2) на конец отработки месторождения и ниже следующими исходными данными:

высота уступа в песчано-глинистых породах верхних горизонтов принята 12 м и 14 м;

высота сдвоенного уступа в скальных породах не более 30 м;

для групп уступов в скальных породах по участкам соответствующих бортов карьера определялись максимально допустимые углы их наклона для высоты от 60 до 300 м.

углы наклона участков бортов в песчано-глинистой толще (в горизонтах -15... +40 м), определены с учетом наличия слабого водонасыщенного слоя песков на восточном борту;

углы наклона бортов карьера в скальных породах необходимо определить исходя из предварительных проектных проработок по углубке карьера до отметки -600 м.

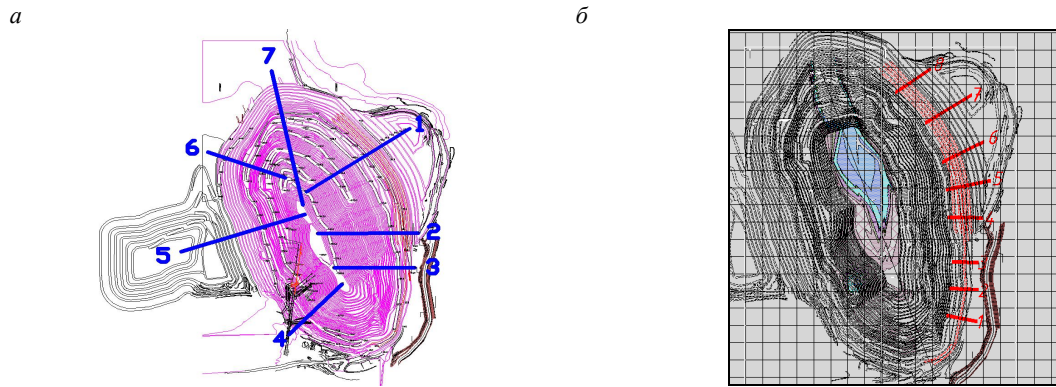


Рис. 1. Расчетные разрезы на плане карьера ЧАО «ИнГОК» (а) и его восточного борта (б) в конечном положении

При выборе расчетных схем для проведения геомеханических расчетов по определению максимально допустимых углов наклона уступов, групп уступов и бортов Ингулецкого карьера и отвалов мы руководствовались методическими указаниями [4], а именно:

при определении допустимых углов наклона уступов в песчано-глинистой толще использовался метод алгебраического сложения сил, схема V выше указанных методических указаний;

при определении допустимых углов наклона уступов в скальной толще высотой до 30 м использовался метод алгебраического сложения сил, схема III (для откоса, сложенного слоистыми породами с углом падения более угла внутреннего трения породы, но менее угла заоткоски уступа);

при определении допустимых углов наклона ярусов и бортов отвалов №1, и №5 использовался метод алгебраического сложения сил по криволинейной поверхности скольжения с учетом гидростатических и гидродинамических сил.

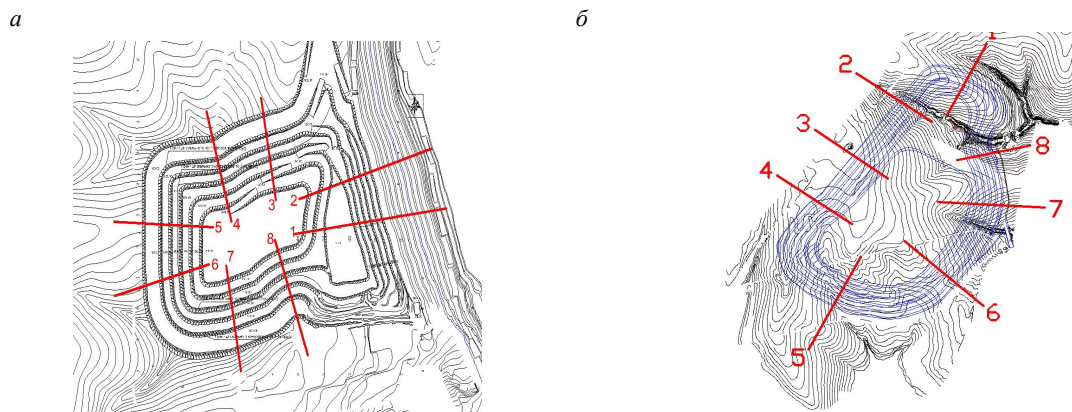


Рис. 2. Расчетные разрезы на плане отвала №1 (а) и отвала №5 (б) в их конечном положении

Построенные расчетные вертикальные разрезы бортов и групп уступов карьера ЧАО «ИнГОК» с учетом пространственного залегания скальных и песчано-глинистых породных массивов, с нанесенными на них вероятными поверхностями скольжения и формой расчетных блоков, рассмотрены в нескольких вариантах.

Полученные результаты. В обобщенном виде результаты выполненных расчетов по определению степени устойчивости бортов карьера ЧАО «ИнГОК» на предельном контуре приведены в табл. 1. Из данных этой таблицы следует, что устойчивость бортов карьера ЧАО «ИнГОК» по контурам, планируемому на конец его отработки, соответствует нормативным требованиям, так как значения коэффициента запаса устойчивости (КЗУ) находятся в пределах 1,30 - 2,28.

При этом необходимо отметить, что сложившаяся горно-геологическая ситуация на Ингулецком карьере предполагает повышенное внимание к восточному борту карьера.

Восточный борт карьера – рабочий. Опасность, связанную с нарушением его устойчивости, в северо-восточной части борта карьера представляют горизонты с (+40 до -15) сложенные сыпучими и слабо-сцепленными породами. При этом восточный борт сформирован весьма неудачно с точки зрения геомеханического обеспечения его устойчивости.

Таблица 1
Результаты расчетов устойчивости бортов карьера
ЧАО «ИнГОК» на конечном контуре

№ разреза	Высота откоса, м	Угол наклона, град.	КЗУ, доли. ед
1 вариант 1	555	23	1,38
1 вариант 2	465	25	1,35
(в наносах)	110	12	1,33
2 вариант 1	630	26	1,37
2 вариант 2	570	30	1,34
(в наносах)	55	14	1,35
3 вариант 1	610	32	1,35
3 вариант 2	315	47	1,30
(в наносах)	25	13	2,28
4 вариант 1	645	36	1,31
4 вариант 2	570	40	1,30
(в наносах)	75	22	1,32
5 вариант 1	735	31	1,37
5 вариант 2	525	45	1,30
(в наносах)	135	15	1,30
6 вариант 1	560	31	1,35
6 вариант 2	180	57	1,31
(в наносах)	100	20	1,42
7 вариант 1	645	20	1,38
7 вариант 2	345	23	1,40

Так на всем протяжении восточный борт пригружен дамбой высотой 30–60 м, для защиты от возможных паводков на реке Ингулец, а северная часть борта непосредственно примыкает к ярусам внешнего отвала № 3. К тому же песчано-глинистые породы восточного борта сильно обводнены, вследствие чего на гор. -15м, ±0м нередко наблюдаются локальные деформации, которые, не нарушая его устойчивости в целом, приводят к приостановке горных работ в связи с необходимостью проведения ремонтных работ на железнодорожных путях, автодорогах, перегрузочных пунктах и т.п.

Поэтому восточный борт карьера был особо детально исследован. Положение восьми расчетных разрезов на плане восточного борта, показано на рис. 1 б, а результаты выполненных расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2
Результаты расчета устойчивости восточного борта карьера ЧАО «ИнГОК» конечном положении

№ разреза	Маркшейдерские оси	Высота откоса, м	Угол наклона, град.	КЗУ, доли ед.
1	40	24	17	2,48
2	46	24	15	2,50
3	52	24	13	2,28
4	62	45	17	1,35
5	70	70	15	1,32
6	76...80	85	14	1,31
7	84...92	90	13	1,33
8	92...98	70	14	1,33

Из данных этой таблицы следует, что устойчивость восточного борта карьера на конец его отработки, соответствует нормативам, т.к. значения КЗУ находятся в пределах 1,31-2,50.

В основу расчета устойчивости бортов внешних отвалов №1 и №5 ЧАО «ИнГОК» положено проектное решение ГП «ГПИ «КРИВБАССПРОЕКТ» о положении горных работ на отвале на конец его отсыпки, сформированное с учетом рекомендованных максимально допустимых углов наклона бортов [2, 9].

В обобщенном виде результаты выполненных расчетов по определению степени устойчивости внешних отвалов №1 и №5 на конец его отсыпки, приведены в табл. 3, 4, соответственно.

Из данных приведенных в табл. 3 следует, что степень устойчивости бортов отвала №1 ЧАО «ИнГОК» в конечном положении, соответствует нормативным требованиям, т.к. значения КЗУ находятся в пределах 1,30-1,93.

Из данных приведенных в табл. 4 следует, что степень устойчивости бортов отвала №1 ЧАО «ИнГОК» в конечном положении, соответствует нормативным требованиям, т.к. значения КЗУ находятся в пределах 1,30-1,43. Однако необходимо отметить, что данные результаты получены при условии отсыпки первого яруса скальными породами, а также создания дренажной системы в основании отвала.

Выводы и направления дальнейших исследований. В результате выполненных геомеханических расчетов установлено, что все предложенные специалистами ГП «ГПИ «КРИВБАССПРОЕКТ», конечные контура карьера и внешних отвалов №1 и №5 ЧАО «ИнГОК» обладают достаточной степенью устойчивости и отвечают правилам охраны труда при разработке место-

рождений полезных ископаемых открытым способом, т.к. значения полученных коэффициентов запаса устойчивости не ниже нормативных.

Таблица 3

Результаты расчета устойчивости бортов отвала №1
ЧАО «ИнГОК» на конечном контуре

№ разреза	Высота откоса, м	Угол наклона, град	КЗУ, доли. ед.
1 вариант 1	128	10	1,93
1 вариант 2	78	14	1,46
Расчет системы «карьер-отвал» по разрезу 1			
1 вариант 3	140	10	1,48
1 вариант 4	90	14	1,30
2 вариант 1	128	12	1,54
2 вариант 2	78	15	1,36
Расчет системы «карьер-отвал» по разрезу 2			
2 вариант 1	140	12	1,31
2 вариант 2	90	15	1,30
3 вариант 1	120	13	1,34
3 вариант 2	120	13	1,40
4 вариант 1	125	15	1,30
4 вариант 2	125	15	1,33
5 вариант 1	115	14	1,33
5 вариант 2	115	14	1,38
6 вариант 1	120	14	1,30
6 вариант 2	120	14	1,31
7 вариант 1	125	14	1,30
7 вариант 2	125	14	1,31
8 вариант 1	120	14	1,30
8 вариант 2	120	14	1,31

Таблица 4

Результаты расчета устойчивости бортов отвала №5
ЧАО «ИнГОК» на конечном контуре

№ разреза	Высота откоса, м	Угол наклона, град	КЗУ, доли ед.
1 вариант 1	92	16	1,31
1 вариант 2			1,31
2 вариант 1	100	15	1,31
2 вариант 2			1,31
3 вариант 1	104	15	1,35
3 вариант 2			1,35
4 вариант 1	105	16	1,32
4 вариант 2			1,33
5 вариант 1	118	15	1,34
5 вариант 2			1,36
6 вариант 1	115	15	1,30
6 вариант 2			1,32
7 вариант 1	128	16	1,38
7 вариант 2			1,40
8 вариант 1	110	15	1,41
8 вариант 2			1,43

При этом максимально допустимые углы наклона открытых горных выработок ЧАО «ИнГОК» на предельном контуре находятся в пределах:

от 45° до 60° для уступов, сооружаемых в песчано-глинистых породах, при условии выполнения ряда мероприятий по осушению этих пород;

от 50° до 75° для уступов, сооружаемых в скальных породах;

от 12° до 22° для бортов карьера, сооружаемых в рыхлых отложениях;

от 44° до 85° для групп уступов, сооружаемых в скальных породах, высотой 60 - 300 м;

от 40° до 44° для бортов карьера, сооружаемых в скальных породах, высотой до 600 м.

На основе проведенных исследований и расчетов можно сделать вывод о целесообразности дальнейшего максимального использования существующих методов производственного мониторинга в качестве геомеханического, который необходим как элемент системы обеспечения безопасности труда на карьерах и отвалах.

Список литературы

1. **Несмашний Е.А.** и др. Обоснование оптимальных параметров открытых горных выработок на Криворожских карьерах Кривой Рог, Изд-во «Дионис», -2012, -398 с.: ил.

2. Определение допустимых результирующих углов наклона бортов карьера и отвалов ПАО «ИнГОК». Геомеханические исследования. Этап 2. Определение прочностных свойств скальных и полускальных пород Ингулецкого месторождения. **Отчет о НИР/ КИП «Академический Дом»; рук. работы Е.А.Несмашный.** – Кривой Рог, 2015 - 381 с.

3. **Несмашный Е.А., Герасимова Е.В., Ткаченко Г.И.** Геомеханическое обоснование устойчивых параметров отвалов карьера № 4 ПАО «ЦГОК». Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. - Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», - 2016.- № 43.- С.127-132.

4. **Несмашний С.О., Болотников А.В., Ткаченко Г.И.** Расчет устойчивости участка восточного борта карьера ПАО «ИнГОК» в песчано-глинистой толще. Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ. - 2016.- № 41.- С. 64-69.

5. Технично-економічне обґрунтування визначення перспективи розвитку сировинної бази ОАО «ИнГОК». Открытые горные работы. Определение параметров бортов и уступов карьера и отвалов: Отчет о НИР/ ООО «НОВО-ТЕК-2»; № Кр-10 (1648/10038); **рук. работы Ю.М. Николашин.** – Харьков, 2011 - 81 с.

6. **Герасимова К.В., Ткаченко Г.И.** Прогнозування та попередження зсувів в зовнішніх відвалах з випадково розподіленими властивостями розкривних порід. Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах

глобалізації: XXI Міжнар. наук.- практ. конф., 2017 р.- Переяслав-Хмельницький: ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький ДПУ ім. Григорія Сковороди», 2017 - № 21. – С. 784-787.

7. **Несмашний Е.А.** и др. Определение устойчивых параметров отвала № 2 ПАО «ИнГОК» на предельном контуре с учетом величины порового давления // *Металлургическая и горнорудная промышленность. Днепропетровск*, №7, 2013, с. 72-75.

8. **Болотников А.В., Биленко А.Е., Ткаченко Г.И.** Определение возможности увеличения результирующих углов наклона бортов карьера, путем обратных расчетов прочностных свойств пород, на примере Глеватского карьера ПАО «ЦГОК» *Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць.* – 2015. - № 39.- С. 122-127.

9. **Nesmarshnyi E.** Calculating and rationalising the relativity norms for determining the slopes of quarry flanks. *Soviet mining journal.* -1987. -vol. 1, num. 3, -Oxonian Press, India. -p. 32-38.

10. **Nesmarshnij E.A., Tkachenko G.I.** Stability evaluation of jsc "YUGOK" eastern pit wall taking into account seismic mass blasting effect. *Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць.* - Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», - 2017.- № 44.- С.27-32.

11. **Несмашний Е.А., Болотников А.В., Ткаченко Г.И.** Методика и результаты оценки степени устойчивости внешних отвалов ИнГОКа на основе GPS-мониторинга их деформированного состояния. *Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників-2011».* ДНЗ «Національний гірничий університет». - 2011. - С. 143-149

12. Методичні вказівки з визначення оптимальних кутів нахилу бортів, укосів уступів і відвалів залізрудних та флюсових кар'єрів // Під ред. проф. А.Г.Шапаря // -К: - 2009. – 201с.

13. **Попов И.И., Окатов Р.П.** Борьба с оползнями на карьерах. -М.: Недра, 1980. - 238 с.

14. **Болотников А.В., Несмашний Е.А., Наминат А.С.** Прогнозирование и оценка состояния устойчивости бортов карьера №4, внешних и временных отвалов Артемовского месторождения. *Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. праць.* -Кривий Ріг: КТУ. - № 95. 2012. с.69-74.

15. **С.С. Серый, А.В. Дунаев.** Методика изучения структуры массива скальных пород для оценки устойчивости карьерных откосов // *Маркшейдерия и недропользование.* №4 (36), июль-август 2008. – с. 40-41.

16. Правила охраны труда при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. – Харьков: - 2010.

Рукопись постуила в редакцию 19.04.2018

УДК 331.452

Т.М. ТАЙРОВА, канд. хім. наук, ст. наук. співроб., К.Н. ТКАЧУК, д-р техн. наук, проф.,
ДУ «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці», м. Київ

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ОХОРОНА ПРАЦІ

Мета. Метою даної роботи є побудова математичної моделі системи охорони праці, як підсистеми системи управління охороною праці, оцінювання ефективності її функціонування для формування науково-обґрунтованих заходів запобігання виробничому травматизму. Для досягнення поставленої мети сформовано показники оцінювання кожної підсистеми системи охорона праці. Оцінювання технічної, організаційної та санітарно-гігієнічної підсистем системи охорона праці проведено опосередковано шляхом декомпозиції створеної системи «роботодавець – працівник – робоче місце».

Методи досліджень. Для вирішення поставлених завдань використовуються методи математичного моделювання систем.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність та наукову новизну роботи, адже дотепер наукові дослідження у зазначеному напрямку не проводились. Для комплексної оцінки ефективності функціонування системи охорона праці розроблено її математичну модель, яка дозволяє, визначати фактори, що найбільше впливають на ефективність її функціонування при їх сумісному впливі, та на основі отриманих оцінок розробляти управлінські рішення, спрямовані на запобігання виробничому травматизму.

Практична значимість. Розроблено оціночні показники для кожної підсистеми системи охорона праці, побудовано математичну модель системи охорона праці та отримано аналітичні залежності для оцінювання ефективності функціонування системи охорона праці від чинників внутрішнього та зовнішнього впливу. Отримані результати є достовірними, оскільки використовувалися аналітичні методи, офіційні та фактичні статистичні дані. Встановлено залежність ефективності функціонування системи охорона праці від множини чинників зовнішнього і внутрішнього середовища, що дозволило сформувати найбільш пріоритетні науково-обґрунтовані управлінські рішення, спрямовані на підвищення ефективності функціонування СУОП та запобігання виробничому травматизму.

Результати. Докладно розглянуто структуру системи охорона праці та досліджено вплив на ефективність її функціонування зовнішніх і внутрішніх факторів, що призводять до настання нещасних випадків на виробництві, що дає можливість уніфікувати і регламентувати порядок розроблення науково-обґрунтованих управлінських рішень

Ключові слова: система охорона праці, чинники зовнішнього і внутрішнього середовища, математична модель, виробничий травматизм, моделювання.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-46-25-32