

УДК 622.831: 553.635.1

С. И. Скипочка, д-р техн. наук, профессор,
Т. А. Паламарчук, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
В. Н. Сергиенко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
В. А. Амелин, магістр,
Т. Г. Войтович, аспирант
(ИГТМ НАН Украины)

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ ГИПСОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

С. І. Скіпочка, д-р техн. наук, професор,
Т. А. Паламарчук, д-р техн. наук, ст. наук. співроб.,
В. М. Сергієнко, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
В. А. Амелін, магістр,
Т. Г. Войтович, аспірант
(ІГТМ НАН України)

ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В ГІРСЬКИХ ПОРОДАХ ГПСОВИХ РОДОВИЩ

S. I. Skipochka, D. Sc. (Tech.), Professor,
T. A. Palamarchuk, D.Sc. (Tech.), Senior Researcher,
V. N. Sergienko, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,
V. A. Amelin, M.S (Tech.),
T. G. Vojtovich, Doctoral Student
(IGTM, NAS of Ukraine)

SPECIFICS OF DEFORMATION PROCESSES IN THE ROCKS OF GYPSUM DEPOSITS

Аннотация. Механизм деформирования блочно-структурированного гипсосодержащего массива состоит в деформировании породных блоков, их взаимном скольжении и вращении. При этом пучение вмещающих пород вызвано «давлением кристаллизации гипса». В работе представлена трехлинейная зависимость между сдвиговым и хрупким разрушением. Показано, что следует учитывать последствия влияния бокового давления, как в „единстве”, так и в „противоборстве” разных компонентов напряжений, а увеличение зоны хрупких разрушений является ключевым для понимания процессов пучения. По границе естественных крупных блоков формируются трещины. После формирования первичной (базовой) трещины происходит релаксация растягивающих напряжений в кровле. Вторичные трещины или пересекают первичные, или наблюдаются вблизи от них. Показано, что рост дефектов в массиве – необратимый процесс, требующий постоянных исследований, наблюдений и прогноза. Выявленные закономерности развития блокообразования в кровле гипсовых шахт позволили обоснованно подойти к выбору способов и средств контроля кровли в зависимости от ее текущего геомеханического состояния.

Ключевые слова: гипсовые месторождения, кровля, деформации, мониторинг.

Характер деформирования массива при разработке гипсовых месторождений состоит в том, что, несмотря на небольшие глубины залегания и невысокие показатели прочности, разрушение потолочин камер, в силу их большого пролета, а также кристаллической структуры гипса, близко к хрупкому с предварительным образованием системных трещин. Трещиноватый массив можно рассматривать как изначально монолитный, но, в последующем подвергнутый деформированию, соответствующему стадии разупрочнения и потери несущей способности, т. е. участку графика запредельного деформирования, расположенному в промежутке между предельной и остаточной прочностью. В глубине массива трещины сомкнуты, и в их плоскостях может сохраняться значительное сцепление – до 20-30 % от величины сцепления в сплошной среде. Кроме общего снижения прочности и роста проницаемости, а также механической и фильтрационной анизотропии, трещиноватость массива горных пород позволяет представить его строение в виде блочной структуры. Механизм деформирования массива состоит в деформировании самих блоков, их взаимном скольжении и вращении. С течением времени трещиноватость потолочин камер приводит к расслоению породного массива – нарушению связи между слоями горных пород, происходит зависание и обрушение слоев кровли выработок. Эти нарушения значительно осложняют ведение работ по освоению месторождений. Например, на Артемовском месторождении гипса зафиксировано несколько случаев обрушения потолочин камер вплоть до выхода воронки обрушения на земную поверхность. Во вмещающих породах часто наблюдаются деформационные процессы в виде пучения, вследствие чего предотвращение потерь относится к долгосрочным проблемам в подземных сооружениях, особенно когда несущая способность опорных конструкций в перспективе невелика. Процессы пучения, происходящие особенно часто в почве выработки, являются не только следствием проявлений свойств пород, но также зависят от выбранного проекта строительства и структуры поддержания подземных сооружений [1].

Процессы разрушения и пучения связаны между собой. Было установлено, что хрупкое разрушение гипсов приводят к образованию трещин и, следовательно, созданию новых каналов для фильтрации воды. Дальнейшие существенные изменения в подземных полостях приводят к изменению напряженного состояния, в результате чего происходит пучение почвы выработки. В глине и ангидридных породах максимальное пучение вызвано «давлением кристаллизации гипса» [2].

Исследованиям хрупкого поведения пород в подземных сооружениях уделяют значительное внимание. Например, работы по изучению хрупкого разрушения для прочных пород успешно ведутся в глубоких горных и альпийских туннелях [2-5]. Классификация поведения пород разработана Е. Ноек [6], А. Palmstrom [7] и др. Чтобы исключить недооценку влияния хрупкого разрушения пород, Р.К. Kaiser с сотрудниками [2] ввели индекс напряжения ($\sigma_{\theta max} / \sigma_2$) ($\sigma_{\theta max}$, σ_2 - максимальные тангенциальные и исходные напряжение в массиве), который указывает момент ожидаемого хрупкого разрушения пород. Основы-

ваясь на знаннях о хрупком разрушении пород, разработаны адекватные методы расчета для проектирования и строительства подземных сооружений [8-10]. Установлено, что процессы отслаивания из-за деформирования трещин и их распространения, приводящие к хрупкому разрушению, доминируют в подземных сооружениях [2, 11-14]. Для массивных блочных и хрупких пород показано [7], что напряжение в массиве лучше всего описывать линейной или S-образной кривой, состоящей из трех частей (рис. 1).

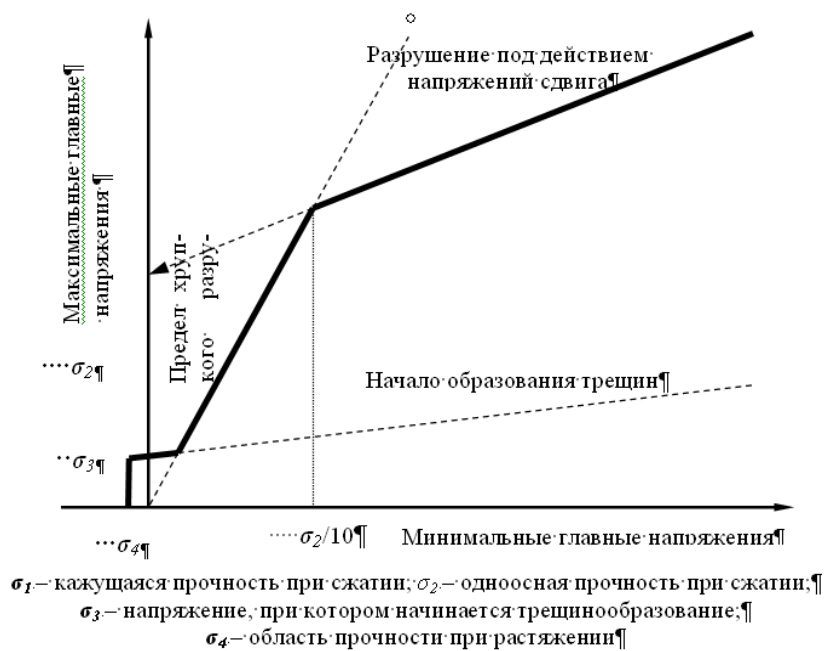


Рисунок 1- Трехлинейная зависимость между сдвиговым и хрупким разрушением [10]

Из рисунка видно, что хрупкое разрушение отсутствует в области низкого давления. Там, где боковое давление низкое, образуются трещины, приводящие к ослаблению и отслоению. В этих условиях вряд ли возникают трещины сдвиговых напряжений.

Нормальный критерий разрушения сдвига, например Кулона-Мора, не рассматривает снижение прочности вследствие сдвига, которое может привести к отслаиванию. Предел хрупкого разрушения (отслоения) не может превышать критерий нормального разрушения горных пород. Можно сказать, что следует учитывать последствия влияния бокового давления, как в „единстве”, так и в „противоборстве” разных компонентов напряжений [15]. Ранее предполагалось, что при хрупком разрушении пород огибающая кривая, как и в критериях Брауна-Хука, является нелинейной непрерывной кривой. Однако из анализа ряда материалов следует, что это предположение неверно для большинства пород [5, 15]. Если наименьшие главные напряжения составляют больше, чем одну десятую прочности пород при неограниченном сжатии (σ_2), то деформации в массиве горных пород подавляются, существенно снижается образование трещин, а превалирует обычный сдвиг. Релаксация предела прочности, при котором происходит этот переход, зависит от различных факторов, в первую оче-

редь, неоднородности массива на микро- и макроуровне. Было обнаружено, что образование трещин активно происходит при воздействии максимального тангенциального одноосного сжатия $\sigma_{\theta max}$ [9, 10, 14-16]. Определенные по данным полевых наблюдений отношения $\sigma_{\theta max} / \sigma_2$ и σ_3 / σ_2 составили 0,35-0,5.

Относительно высокий коэффициент концентрации напряжения K и высокие горизонтальные напряжения наблюдаются в материнской породе. Вполне возможно, что эти высокие горизонтальные напряжения и вызывают трещины в почве и кровле горных выработок. Поскольку процессы пучения требуют присутствия воды, её влияние может возрасти из-за возникновения новых трещин. Наряду с изучением этих процессов, гипотеза о хрупком разрушении пород свидетельствует о правомерном предположении П. Кайзера и Б. Кима о возможном качественном объяснении механизма образования воды в зонах, расположенных ниже горизонта туннеля. Хрупкое разрушение при строительстве тоннелей в массиве горных пород, содержащих ангидрит, может быть объяснено на основе наблюдений, проведенных G. Spaun [17]. П. Кайзером был определен предел хрупких деформаций (граница хрупкого разрушения), которые также могут происходить в месте фронта разрушений [13]. Благодаря этим процессам, смена деформаций растяжения и сжатия значительно снижается, поэтому ущерб от разрушения в результате роста хрупких трещин уменьшается. Таким образом, условия для увеличения притока воды и раствора ангидрита значительно увеличиваются, что вызывает кристаллизацию гипса, превышающую предел растворимости и, следовательно, создается давление пучения, приводящее к существенным деформациям. Увеличение зоны хрупких разрушений является ключевым для понимания процессов пучения.

Гипсовые кристаллы могут расти там, где вода может растворять ангидрит, а напряженное состояние позволяет запускать механизм образования трещин. При достижении предела хрупкого разрушения (предела отслаивания), вода проникает в массив горных пород, преобразовывая ангидрит в гипс. В массиве при этом могут возникать напряжения, сравнимые с предельными.

С учетом изложенного, был выполнен комплекс натурных исследований по определению динамики деформирования потолочины в блочно-структурированном массиве горных пород камер 31, 33 и 35 VII-й панели Артемовского месторождения гипса. Параметры камер представлены в табл. 1.

Для наблюдения динамики развития трещин в кровле в отделе механики горных пород ИГТМ НАНУ разработана комплексная методика, включающая:

- визуальные обследования горных выработок с фиксацией участков аномалий и документирование образования и расхождения трещин в потолочине;
- инструментальный оперативный контроль обнаружения участков расслоений и заколов с помощью виброакустического индикатора ДИКОН и контроль состояния приконтурной зоны породного массива потолочин выработок средствами постоянного наблюдения;

- аналитический анализ наблюдений визуального обследования и результатов измерений средствами постоянного и оперативного контроля потолочин камер.

Таблица 1 – Параметры элементов камерно-столбовой системы VII-й панели

Наименование параметра	Номер камеры		
	31	33	35
Средняя высота (верхний уступ), м	8,0	7,2	7,2
Ширина камеры, м	8,6	8,4	8,4
Ширина целика, м	12,0	12,0	12,0
Длина целика, м	20,0	20,0	20,0
Средняя глубина залегания, м	80	75	75
Мощность непосредственной кровли, м	1,0	1,0	1,0
Мощность защитного слоя в почве, м	1,0	1,0	1,0

В результате многолетних наблюдений установлено, что при длительной эксплуатации выработки имеют место два противоположных процесса:

- самоорганизация, происходящая естественным путем и неизбежно приводящая к одному результату – формированию в приконтурной зоне массива, в частности в кровле, блочной структуры;

- организация, представляющая собой целенаправленную деятельность человека по уменьшению интенсивности процесса нарушения структурной целостности массива.

Исходя из канонов геомеханики, первичные трещины в кровле должны были бы возникать вблизи оси выработки, где значение горизонтального растягивающего напряжения в нижней породной пачке наибольшее. Однако, в реальности формирование трещин, происходит по границе естественных крупных блоков, в связи с чем их положение в кровле камеры случайное. Длина таких трещин может достигать десятков метров, а раскрытие – до 10 мм (рис. 2).



Рисунок 2 – Внешний вид первичной трещины в кровле камеры гипсовой шахты

После формирования первичной (базовой) трещины происходит релаксация растягивающих напряжений в кровле и система на некоторое время (месяцы, иногда годы) приобретает новое устойчивое состояние.

Второй этап формирования блочной структуры в кровле – образование вторичных трещин, отходящих от первичной или пересекающих ее. Вторичные трещины имеют преимущественно вид ломаной линии и раскрытие в несколько раз меньше чем у первичной. Несмотря на меньшие размеры, динамика их развития более интенсивная по сравнению с первичными (рис. 3).



Рисунок 3 – Вторичная трещина в потолочине 35 камеры Артемовской гипсовой шахты

Описанный выше процесс формирования блочной структуры в кровле иллюстрируется графическим материалом. Условные обозначения к нему следующие:

- | | | | |
|-----------|--------------------------------------|-------|---------------------------------------|
| ————— | - трещина закрытая; | | - трещина раскрытая, 1,0-5,0 мм; |
| ⊙ | - точка виброакустического контроля; | ----- | - трещина раскрытая, 5,0-10,0 мм; |
| - - - - - | - трещина, раскрытая, 10,0-15,0 ; | ▭ | цементно-песчаный (гипсовый) маяк мм; |
| ⊛ | - скважина контрольная; | ⊕ | - анкер |

Динамика формирования блочной структуры в различных геотехнических системах может существенно отличаться по скорости протекания процесса и проникновению в глубину массива. Однако общими являются этапы:

- возникновения расслоений в породном массиве под воздействием перераспределения напряжений, вызванных ведением горных работ, по естественным границам слоев;
- расширения площади отслаивающегося участка;
- возникновения расслоений на более удаленных вглубь массива участках;

- возникновения системы поперечных трещин, приводящее к формированию крупных блоков;

- взаимного сдвижения блоков и потери устойчивости блочно-структурированного массива.

Динамика развития трещин контролировалась путем периодических визуальных наблюдений, а также виброакустическим индикатором ДИКОН.

Критериальные значения для оценки результатов виброакустического контроля применительно к кровле Артемовской гипсовой шахты следующие:

- при показаниях от 0 до 15 – кровля слабонарушенная (безопасная), нижняя защитная пачка гипса в кровле не расслоена до глубины 1,0 м;

- при показаниях от 16 до 30 – кровля средненарушенная, при которой необходимо постоянное наблюдение за ее состоянием, на участке без трещин необходимо выполнение контрольного бурения и уточнение строения кровли, а на участках с трещинами требуется установка маяков;

- при показаниях свыше 30 – кровля сильнонарушенная, возможно обрушение в любой момент, поэтому требуется либо немедленная оборка заколов и выполнение работ по креплению, либо ограждение участка с запрещением доступа людей. Результаты контроля приведены на рис. 4, 5.

Увеличение раскрытия базовой трещины иллюстрируется рис. 6.

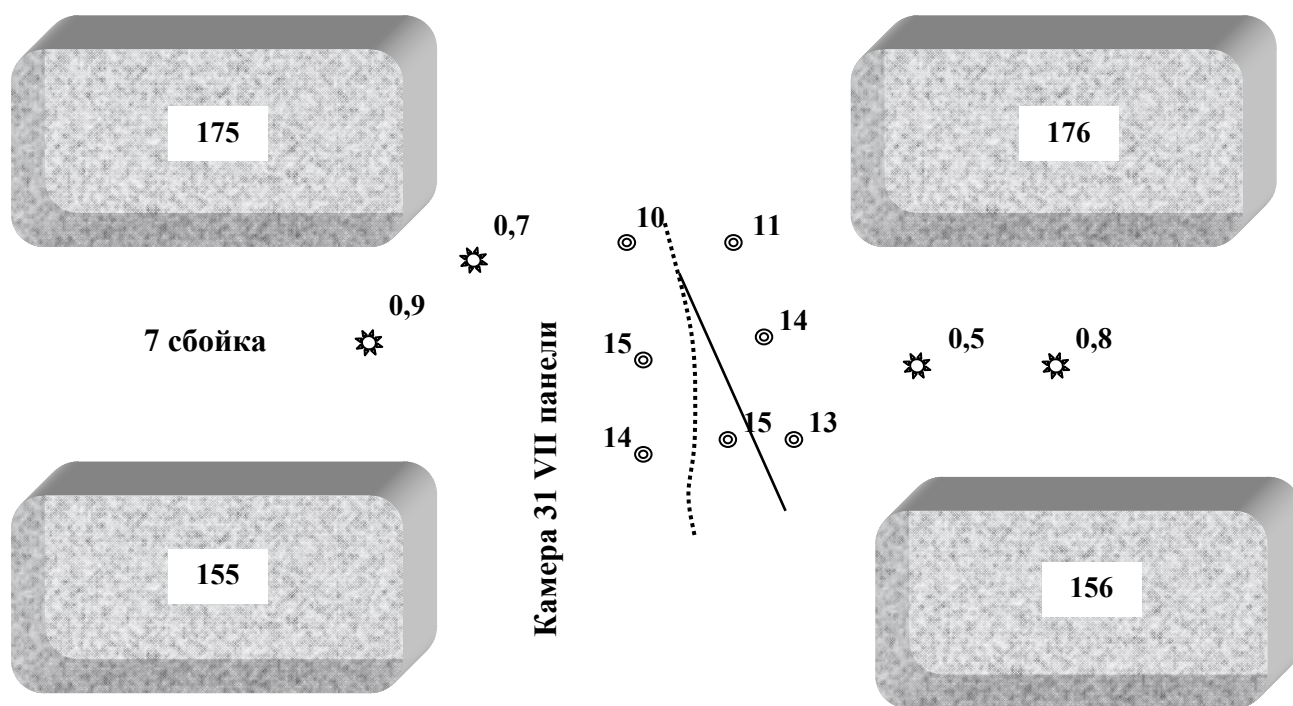


Рисунок 4 – Результаты обследования потолочины сопряжения между 7 сбойкой и 31 камерой VII панели в 2009 г.

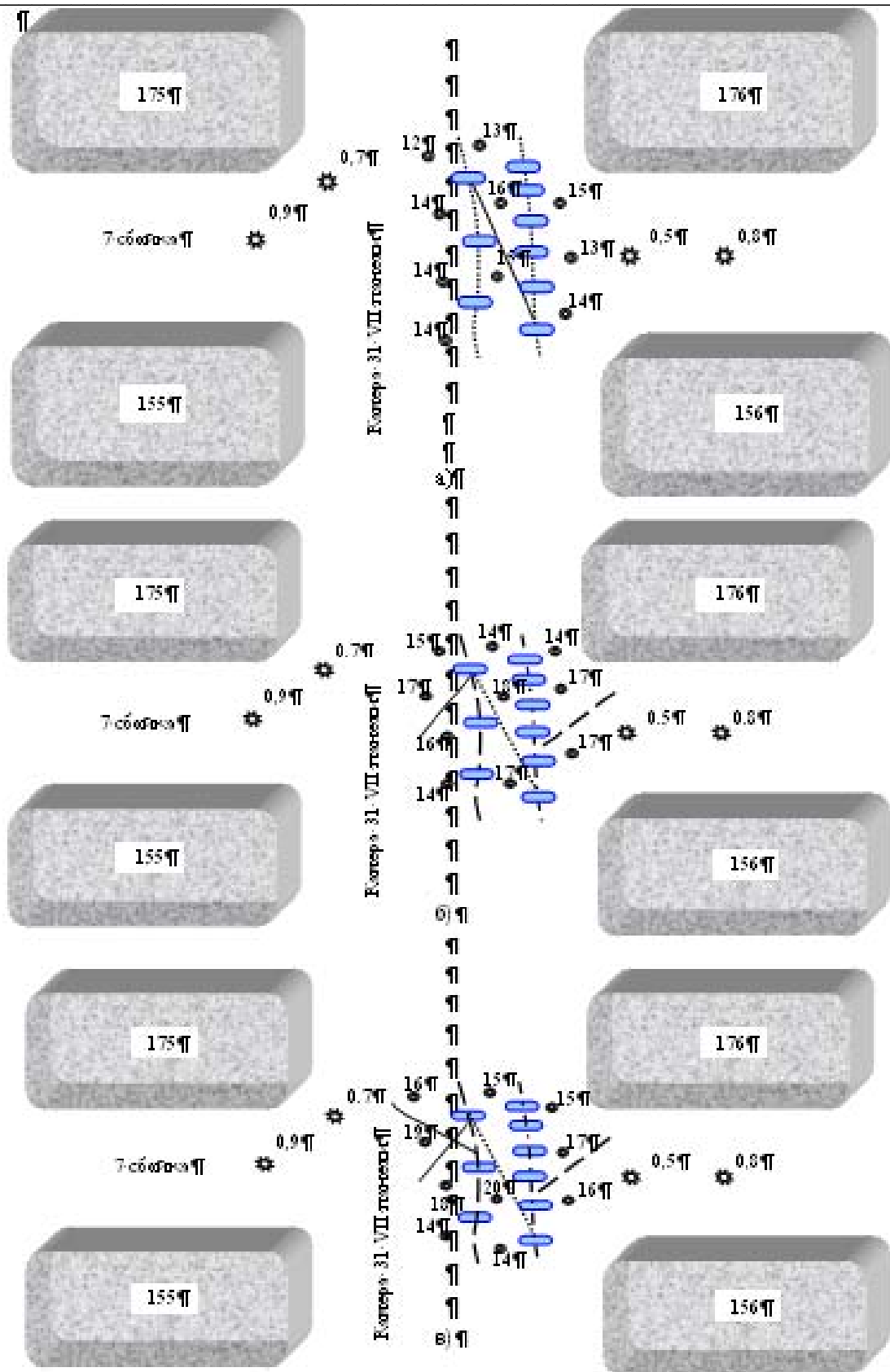


Рисунок 5 – То же в 2010 (а), 2011 (б) и 2012 (в) году



а) – порядка 5 мм в 2010 г.; б) – порядка 10 мм в 2012 г.
 Рисунок 6 – Увеличение раскрытия базовой трещины со временем на участке сопряжения между 7 сбойкой и 31 камерой VII панели

Сказанное, на примере динамики раскрытия трещин в потолочине 35 камеры VII-й панели, иллюстрируется рис. 7.

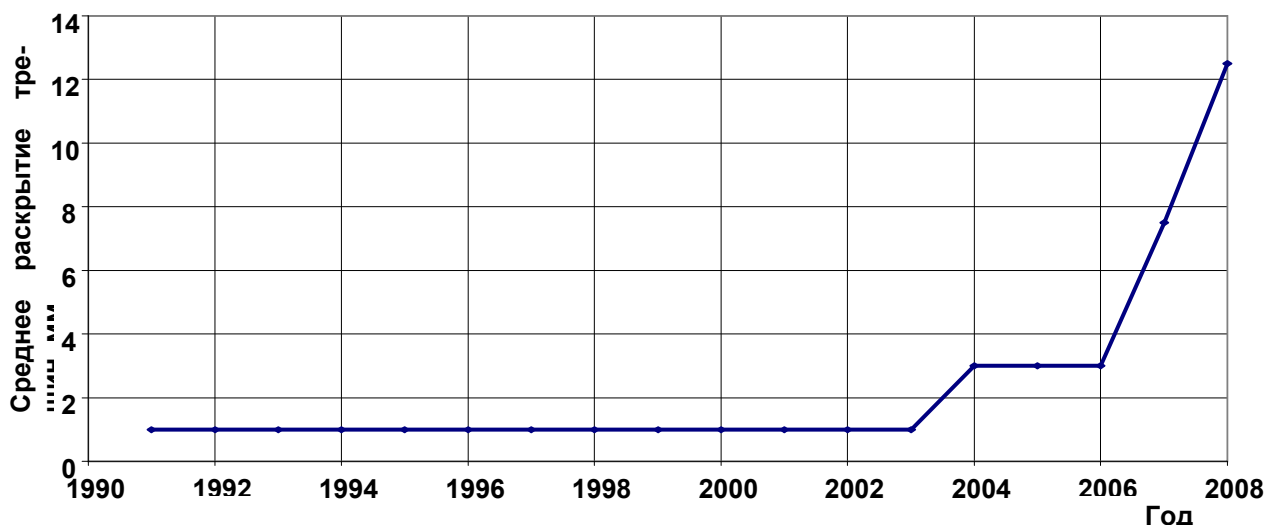


Рисунок 7 – Динамика изменения во времени средних ширины раскрытия трещин в потолочине 35 камеры VII панели

Выявленные закономерности развития блокообразования в кровле гипсовых шахт позволили обоснованно подойти к выбору способов и средств контроля кровли в зависимости от ее текущего геомеханического состояния (табл. 2).

Таблица 2 – Выбор способов и средств контроля кровли с блочной структурой

Этап развития блочной структуры	Эксплуатационное состояние выработки	Способ контроля	Средство Контроля
Отсутствие трещин в кровле	рабочее, без ограничений	визуальный	-
Наличие первичной трещины	рабочее, с некоторыми ограничениями	визуально-инструментальный	индикаторная станция СИМ
Наличие системы трещин	Недопустима эксплуатация без крепления	то же	станция СИМ, сигнализатор СПК
Оконтуривание блоков в кровле	аварийное состояние выработки	-«-	сигнализатор СПК

Результаты наблюдений динамики формирования трещин в кровле позволили установить следующее:

- эволюция диссипативной геомеханической структуры, какой является кровля горных выработок, происходит с чередованием периодов ускоренного развития деформационных процессов и периодов относительной стабильности;
- скорость деформаций в каждом последующем цикле выше, чем в предыдущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Steiner W. Sprodbbruch in wenig festem Fels als Auslöser von Quellvorgängen: Beobachtungen und Analysen / W. Steiner, P. K. Kaiser, G. Spaun // *Geomechanik und Tunnelbau*. - 2010. - №10. - S. 583-596.
2. Undergo and works in hard rock tunnelling and mining / P. K. Keiser [etc.] // *Geo. Eng. 2000*. - Technomic Publ. Co, 2000. - pp. 841-926.
3. Kaiser P. K. Lessons Learned for Deep Tunneling from Rock burst Experiences in Mining / P. K. Kaiser, D. D. Tannant // Symposium on "Vorerkundung und Prognose der Basistunnels am Gotthard und am Lotschberg". - Rotterdam: A.A. Balkema, 1999. - pp. 325-337.
4. Kaiser P. K. Rock Mechanics Challenges in Underground Construction and Mining / P. K. Kaiser, B. H. Kim // *Hem. Int. Rock Mech.* - 2008. - pp. 23-38.
5. Kaiser P. K. Rock mechanics advances of underground construction and mining / P. K. Kaiser, B. H. Kim // *Korea Rock Mech. Society*. - 2008. - pp. 1-16.
6. Hoek E. Rock Support for Underground Excavations in Hard Rock / E. Hoek, P. K. Kaiser, W. F. Bawden. - Rotterdam: A.A. Balkema, 1995. - 234 p.
7. Palmstrom A. Ground behaviour and rock engineering tools for underground excavations / A. Palmstrom, H. Stille // *Tunneling and Underground Space Technology*. - 2008. - №1. - pp. 46-64.
8. Noher H. P. Setzungen Adler Tunnel mit Beitrag über Quellhebungen im Chienbergtunnel / H. P. Noher // *Mitteilungen Schw. Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik*. - 2002. - №145. - S. 15-26.
9. Diederichs M. S. Practical Spall Predictions in Tunnels / M. S. Diederichs, T. Carter // *Proceedings World Tunnel Congress*. - Torino, 2010. - pp. 175-196.
10. Martin C. D. Evaluating the Design Risks for Deep Underground Excavations using Information from surface based drill holes / C. D. Martin, Christianson // *Proc. World Tunnel Congress*. - Torino, 2010. - pp. 47-54.
11. Kaiser P. K. Canadian Rock burst Support Handbook / P. K. Kaiser, D. R. McGrath, D. D. Tannant // *Mining Research Directorate*. - Sudbury, 1996. - pp. 67-92.
12. Martin C. D. Hoek-Brown parameters for predicting the depth of brittle failure around tunnels / C. D. Martin, P. K. Kaiser, D. R. McGrath // *Canadian Geotechnical Journal*. - 1999. - №1. - pp. 136-151.
13. Diederichs M. S. Rock fracture and collapse underflow confinement conditions / M. S. Diederichs // *Rock Mech. Rock Engr.* - 2003. - №5. - pp. 339-381.
14. Martin C. D. Estimating the potential for spalling around a deep nuclear waste repository in crystalline rock / C. D. Martin // *Int. J. of Rock Mech. & Mining Sciences*. - 2009. - №46. - pp. 219-228.
15. Kaiser P. K. With contributions by F. Amann & W. Steiner / P. K. Kaiser // *How highly stressed brittle rock failure impacts tunnel design. Eurock2010*. - Lausanne, 2010. - pp. 27-38.
16. Grob H. Schwellendruck im Blechentunnel / H. Grob // *Int. Symposium on Underground Construction*. - Lucerne, 1972. - pp. 99-119.
17. Spaun G. Über die Ursachen von Sohlhebungen in Tunnel der Gipskeuper / G. Spaun // *Festschrift Leopold Muller-Salzburg zum 65 Geburtstag*. - Karlsruhe, 1974. - S. 245-260.

REFERENCES

1. Steiner, W. (2010), "Sprodbbruch in wenig festem Fels als Auslöser von Quellvorgängen: Beobachtungen und Analysen", *Geomechanik und Tunnelbau*, Vol. 10, S. 583-596.
2. Kaiser, P.K., Diederichs, M.S., Martin, C.D., Sharp, J. & Steiner, W. (2000), "Undergo and works in hard rock tunnelling and mining", *Geo. Eng. 2000*, Technomic Publ. Co, pp. 841-926.

3. Kaiser, P.K. & Tannant, D.D. (1999), "Lessons Learned for Deep Tunneling from Rock burst Experiences in Mining", *Symposium on "Vorerkundung und Prognose der Basistunnels am Gotthard und am Lotschberg"*, Rotterdam, Netherlands, pp. 325-337.
4. Kaiser, P.K. & Kim, B.H. (2008), "Rock Mechanics Challenges in Underground Construction and Mining", *Hem. Int. Rock Mech*, pp. 23-38.
5. Kaiser, P.K. & Kim, B.H. (2008), "Rock mechanics advances of underground construction and mining", *Korea Rock Mech. Society*, pp. 1-16.
6. Hoek, E., Kaiser, P.K. & Bawden, W.F. (1995), *Rock Support for Underground Excavations in Hard Rock*, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.
7. Palmstrom, A. & Stille, H. (2008), "Ground behaviour and rock engineering tools for underground excavations", *Tunneling and Underground Space Technology*, vol. 1, pp. 46-64.
8. Noher, H. P. (2002), "Setzungen Adler Tunnel mit Beitrag über Quellhebungen im Chienbergtunnel", *Mitteilungen Schw. Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik*, vol. 145, S. 15-26.
9. Diederichs, M.S., Carter, T. & Martin (2010), "Practical Spall Predictions in Tunnels", *Proceedings World Tunnel Congress*, Torino, Italy, pp. 176-196.
10. Martin C. D. (2010), "Evaluating the Design Risks for Deep Underground Excavations using Information from surface based drill holes", *Proc. World Tunnel Congress*, Torino, Italy, pp. 47-54.
11. Kaiser, P.K., McCreath, D.R. & Tannant, D.D. (1996), "Canadian Rock burst Support Handbook", *Mining Research Directorate*, Sudbury, Canada, pp. 67-92.
12. Martin, C.D., Kaiser, P.K. & McCreath, D.R. (1999), "Hoek-Brown parameters for predicting the depth of brittle failure around tunnels", *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 1, pp. 136-151.
13. Diederichs M. S. (2003), "Rock fracture and collapse under flow confinement conditions", *Rock Mech. Rock Engr*, vol. 5, pp. 339-381.
14. Martin, C.D. & Christianson (2009), "Estimating the potential for spalling around a deep nuclear-waste repository in crystalline rock", *Int. J. of Rock Mech. & Mining Sciences*, vol. 46, pp. 219-228.
15. Kaiser, P. K. (2010), "With contributions by F. Amann & W. Steiner", *How highly stressed brittle rock failure impacts tunnel design. Eurock 2010*, Lausanne, Switzerland, pp. 27-38.
16. Grob, H. (1972), "Schwellendruck im Blechtunnel", *Int. Symposium on Underground Construction*, Lucerne, Switzerland, pp. 99-119.
17. Spaun, G. (1974), "Über die Ursachen von Sohlhebungen in Tunnel der Gipskeupers", *Festschrift Leopold Muller-Salzburg zum 65 Geburtstag*, Karlsruhe, Germany, S. 245-260.

Об авторах

Скпочка Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом механики горных пород Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, skipochka@ukr.net.

Паламарчук Татьяна Андреевна, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, tp208_2008@ukr.net.

Сергиенко Виктор Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, sergienko.vic@yandex.ru.

Амелин Владимир Анатольевич, магистр, ведущий специалист в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, gips5@ua.fm.

Войтович Татьяна Геннадьевна, аспирант в отделе Механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Поляков Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, vojtovich.leonid@yandex.ru.

About the authors

Skpochka Sergej Ivanovitch, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Head of Department of Rock Mechanics, The Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, skipochka@ukr.net.

Palamarchuk Tatyana Andreevna, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Senior Researcher, Principal Researcher in Rock Mechanics Department, M. S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, tp208_2008@ukr.net.

Sergienko Viktor Nikolayevich of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Rock Mechanics Department, M. S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, sergienko.vic@yandex.ru.

Amelin Vladimir Anatolievich, Master of Science, Principal Specialist in Rock Mechanics Department, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, gips5@ua.fm.

Vojtovich Tatiana Gennadiyevna, Doctoral Student in the Department in Rock Mechanics Department, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, vojtovich.leonid@yandex.ru.

Анотація. Механізм деформування блочно-структурованого масиву, що вміщує гіпс, полягає в деформуванні породних блоків, їх взаємному ковзанні і обертанні. При цьому здимання порід викликано «тиском кристалізації гіпсу». У роботі представлено трілінійну залежність між зсувним і крихким руйнуванням. Показано, що слід враховувати наслідки впливу бічного тиску, як в "єдності", так і в "протиборстві" різних компонентів напружень, а збільшення зони крихких руйнувань є ключовим для розуміння процесів здимання. По межі природних блоків формуються тріщини. Після формування первинної (базової) тріщини має місце релаксація розтягуючи напружень у покрівлі. Вторинні тріщини або пересікають первинні, або спостерігаються поблизу від них. Показано, що зростання дефектів у масиві - незворотний процес, який вимагає постійних досліджень, спостережень і прогнозу. Виявлені закономірності розвитку блокоутворення в покрівлі гіпсових шахт дозволили обґрунтовано підійти до вибору способів і засобів контролю покрівлі в залежності від її поточного геомеханічного стану.

Ключові слова. Гіпсові родовища, покрівля, деформації, моніторинг.

Abstract. Mechanism of deformation of the block-structured gypsum-containing massif includes deformation of rock blocks and their joint sliding and rotation. Swelling of enclosing rocks is a result of "the pressure of gypsum crystallization." The paper presents three-linear dependence between shear fracture and brittle fracture. It is shown, that consequences of lateral pressure influence - both "unity" and "confrontation" of different stress components - should be taken into account, and increase of brittle fracture zone should be considered as a key factor for understanding processes of swelling. Cracks are formed along the border of the large blocks. When primary (basic) cracks have been formed relaxation of the tensile stress ensues in the roof. Secondary cracks either cross the primary cracks or are formed near them. It is shown that growth of defects in the massif is an irreversible process, which requires further studies, observations and forecasts. Revealed regularity of block formation in the roof of gypsum mines allowed to make reasonable choice of methods and technique for the roof monitoring depending on its geomechanical state.

Keywords. Gypsum deposits, roof, deformation, monitoring.

Стаття поступила в редакцію 12.07. 2013

Рекомендовано к публікації д-ром техн. наук В.Г. Шевченко

УДК 622.647.2

В. Ф. Монастырский, д-р техн. наук, профессор
Р. В. Кирия, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.

А. Н. Смирнов, магистр
(ИГТМ НАН Украины)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КРУПНЫХ КУСКОВ ГРУЗА
ПО РОЛИКООПОРАМ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА**

В. Ф. Монастирський, д-р техн. наук, професор
Р. В. Кірія, канд. техн. наук, ст. наук. співр.

А. М. Смірнов, магістр
(ІГТМ НАН України)

**ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ КРУПНИХ ШМАТКІВ ВАНТАЖУ
ПО РОЛИКООПОРАМ СТРИЧКОВОГО КОНВЕЄРА**

V. F. Monastyrsky, D.Sc. (Tech.), Professor
R.V. Kiriya, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher

A. N. Smirnov, M.S (Tech.)
(IGTM, NAS of Ukraine)

**STUDY OF THE LUMPS TRANSPORTATION BY
THE BELT-CONVEYER ROLL SUPPORTS**

Аннотация. В статье рассмотрена одна из важных задач конвейерного транспорта: определение динамических усилий при движении крупных кусков груза по стапу ленточных конвейеров различных конструкций: с жесткими роликоопорами; с канатными подвесными роликоопорами; с амортизированными роликоопорами и подвесными роликоопорами на амортизированных подвесах. В отличие от предыдущих авторов, в данной работе основными причинами возникновения динамических усилий при движении крупных кусков груза по роликоопорам ленточных конвейеров являются силы инерции, обусловленные прогибом ленты под действием подвижной нагрузки. В представленной статье поставлены и решены задачи колебаний ленты и става с различными типами роликоопор при движении по ним крупных кусков груза. В результате решения этих задач определены силы реакции роликоопор при движении по ним ленты с куском груза, а также определены коэффициент динамичности и коэффициенты реакции роликоопор, равные отношению силы реакции к весу куска груза. Кроме того, определены критические скорости ленты, при которых в стапе конвейера возникают резонансы и автоколебания. При анализе полученных результатов исследований установлено, что коэффициент динамичности и коэффициент реакции роликоопоры с увеличением скорости ленты увеличиваются, а с увеличением натяжения ленты уменьшаются. Кроме того, при скоростях ленты выше 2 м/с коэффициент динамичности для жестких роликоопор больше коэффициента динамичности для подвесных роликоопор. А коэффициент реакции для амортизированных роликоопор при любых значениях скорости ленты конвейера больше коэффициента реакции для подвесных амортизированных роликоопор.

Ключевые слова: крупный кусок, роликоопоры, ленточный конвейер, динамические усилия, коэффициент динамичности.