

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ РЕЗОНАНСА В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАДШАХТНЫХ КОПРАХ

А. П. Иванова, Л. В. Феськова, А. Н. Чумак

ГВУЗ «Национальный горный университет»

просп. Дмитрия Яворницкого, 19, г. Днепр, 49000, Украина.

E-mail: a.p.ivanova05@gmail.com

Обоснована актуальность создания новых и уточнение существующих рекомендаций и нормативных документов, учитывающих влияние именно техногенных сейсмических воздействий. Рассмотрена и обоснована необходимость учета частотного состава техногенных землетрясений, что позволяет выполнять необходимую защиту сооружений, особенно длительно эксплуатирующийся, от резонансного воздействия. В качестве примера представлен модальный расчет надшахтного копра в Robot Structure Analysis.

Ключевые слова: колебания, резонанс, сейсмическая активность, техногенные землетрясения, защита от разрушения, копер, коэффициент динамичности.

ВПЛИВ ТЕХНОГЕННОЇ СЕЙСМІЧНОСТІ НА ВИНИКНЕННЯ РЕЗОНАНСУ В МЕТАЛЕВИХ НАДШАХТНИХ КОПРАХ

Г. П. Іванова, Л. В. Феськова, О. М. Чумак

ДВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49000, Україна.

E-mail: ivaso94@mail.ru

Обґрунтовано актуальність створення нових і уточнення існуючих рекомендацій та нормативних документів, які враховують вплив саме техногенних сейсмічних впливів. Розглянуто та обґрунтовано необхідність урахування частотного складу техногенних землетрусів, що дозволяє виконувати необхідний захист споруд, які особливо тривало експлуатуються, від резонансного впливу. У якості прикладу представлений модальний розрахунок надшахтної копра в Robot Structure Analysis.

Ключові слова: резонанс, сейсмічна активність, техногенні землетруси, захист від руйнування, коливання, копер, коефіцієнт динамічності.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Постоянное усложнение инженерных конструкций и сооружений увеличивают их уязвимость от природных явлений. Каждое сооружение имеет некоторую вероятность разрушения, попытка приблизить эту вероятность к нулю сопровождается стремительным ростом его стоимости [1]. Кроме того, сооружения не могут быть совершенно свободными от риска разрушения из-за неопределенностей требований к системе, разброса технических свойств строительных материалов, трудностей адекватного моделирования поведения системы даже с использованием современных программных комплексов.

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТТІ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Бурное развитие техники, наращивание темпов добычи полезных ископаемых, развитие энергетики, происходящие в последнее время, сочетаются с увеличением ответственности по отношению к окружающей среде. К опасным явлениям относятся собственно сейсмические сотрясения, оползни, обвалы, разжижения грунта и сейсмотектонические разрывы (практически мгновенные разрывные сейсмотектонические смещения связаны с разрывными выходами сейсмических очагов на земную поверхность). Смещения земной поверхности могут достигать многих метров и, безусловно, опасны для любых инженерных сооружений.

Большое количество примеров современных сейсмических катастроф показывают, что при проектировании зданий и сооружений очень важен учет степени сейсмической опасности региона строительства. В особенности это касается ответственных сооружений, разрушение которых может привести к гибели людей, большому материальному ущербу и нанести вред окружающей среде.

Сейсмическая волна имеет определенные характеристики, основными являются - ускорение волны и частота. Именно частотный состав остаётся за пределами внимания и, как следствие, здания не получают должной защиты от резонансного воздействия. Это оправдывает себя при слабых землетрясениях, когда продолжительность воздействия мала и резонансное состояние просто не возникает, но при сильных землетрясениях, с продолжительностью 40 – 100 секунд резонанс, как правило, проявляется и приводит к неожиданным, и часто трагическим последствиям.

Целью работы является учет частотного состава сейсмической волны при защите сооружений от возникновения резонанса.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. В настоящее время отсутствует общепринятый научно обоснованный подход или практика проектирования зданий и сооружений, сохраняющих структурную целостность при различных вариантах расчетных нагрузок и аварийных воздействий. Не разработаны аналитические методы определения начальных повреждений и прогнозирования вероятности последующего разрушения сооружения из-за предполагаемых аварийных воздействий [2]. Необходимы разработки по развитию усовершенствованной методики оценки уязвимости конструктивных систем и их совершенствования для смягчения последствий разрушения от техногенных землетрясений при различных вариантах опасности [3].

Последние исследования и наблюдения показали, что во многих районах предполагаемая оценка уровня сейсмичности занижена. Также до сих пор не разработана методика, позволяющая с высокой точностью прогнозировать, где и в какое время произойдет землетрясение. Яркий пример этого землетрясения в г. Кривой Рог.

На рис. 1 показан график сейсмической активности в городе Кривой Рог. Как видно из диаграммы, землетрясения имеют тенденцию возрастать по магнитуде.

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТТІ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

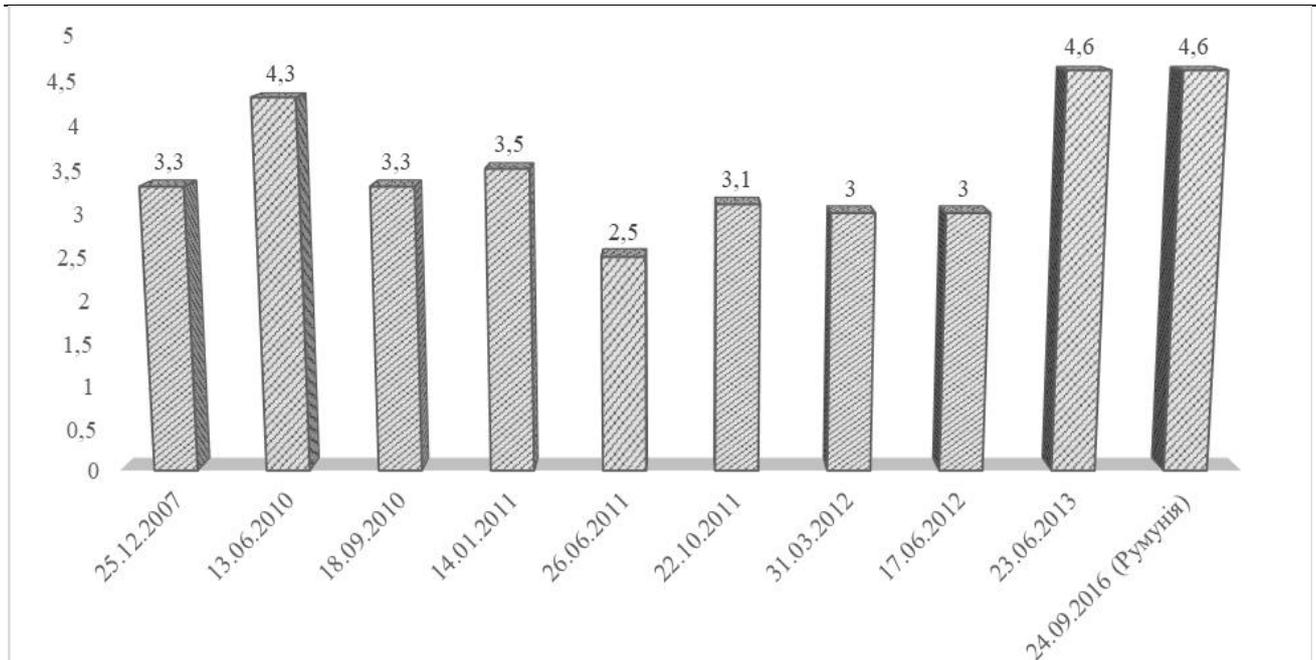
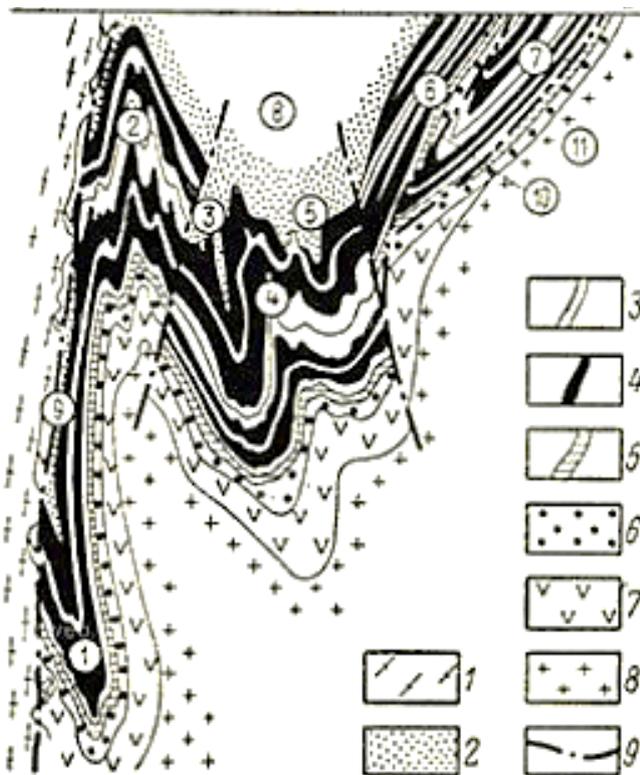


Рисунок 1 – Основные даты землетрясений и их магнитуда в районе г. Кривой Рог

Согласно карте, прогнозируемой интенсивности сейсмических воздействий (сейсмической балльности), территория г. Кривого Рога и Криворожского железорудного бассейна (рис. 2) относится к слабосейсмическому региону.



1 – мікроклін-плагіоклазові граніти, 2 – відкладення верхньої свити Криворожської серії, 3 – сланцеві горизонти середньої свити, 4 – залізисті горизонти середньої свити, 5 – тальк-карбонат-амфіболіти, 6 – відкладення нижньої свити, 7 – амфіболіти, 8 – плагіограніти, 9 – тектонічні порушення. Складчаті і розривні структури: 1 – Лихмановська кинклиналь, 2 – Таранак-Лихмановська синкліналь, 3 – Західно-Інгулецька антикліналь, 4 – Советська антикліналь, 5 – Вісхідно-Інгулецька синкліналь, 6 – Саксаганська антикліналь, 7 – Саксаганська синкліналь, 8 – Основна синкліналь, 9 – Головний Криворожський розлом, 10 – Саксаганський надвіг, 11 – Вісхідний надвіг

Рисунок 2 – Тектоническая схема Криворожского бассейна в районе Кривого Рога

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТТІ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Причини даних землетрясень по сей день являються центром спорів багатьох геофізиків основними гіпотезами яких являються тектонічна та техногенна природа виникнення явлення. По тектонічній теорії місто знаходиться в районі північного краю потужного сейсмоактивного пояса нашої планети, який тягнеться від Азорських островів через Середземне море, захоплює Румунію, де Зона Вранча, захоплює Одеську область, Крим, Кавказ, далі йде до Гіндукушу, там розпадається – одна частина йде в бік Байкала, друга в бік острова Суматра. В цьому поясі такі землетрясіння – часте явлення.

Сейсмічна хвиля має певні характеристики, основними являються – прискорення хвилі та частота [4]. Саме частотний склад залишається за межами уваги і, як наслідок, будівлі не отримують належної захисту від резонансного впливу. Це виправдовує себе при слабких землетрясіннях, коли тривалість впливу мала і резонансний стан просто не виникає, але при сильних землетрясіннях, з тривалістю 40 – 100 секунд резонанс, як правило, проявляється і призводить до несподіваних, і часто трагічних наслідків [5].

Збіг власної частоти та частоти коливань вітру виявився в зруйнованому Такомському підвісному мосту. Цей випадок є найяскравішим і трагічним прикладом явлення резонансу. Зруйнування підвісного моста під впливом вітру – це ілюстрація того, як відносно постійна сила викликає резонанс. На жаль, Такомський міст – це не єдиний випадок обвалення споруд. Випадки спостерігалися і спостерігаються по всьому світу, в тому числі і в Україні.

Техногенна діяльність в гірничопромислових регіонах України досягла таких масштабів, що здатна викликати штучні землетрясіння. Таке негативне вплив людини найбільш проявлено в Криворізькому регіоні. Місто Кривий Ріг має особливе розташування вздовж витягнутого родовища залізних руд, довжиною до 100 км, і шириною – до 20 км.

Існуюча інфраструктура міста, яка створювалася без урахування сейсмічних факторів, складається з двох частин: житлового фонду та промислових підприємств.

При цьому шахти, кар'єри, відвали знаходяться в межах міста або поблизу міської межі, на яких виконують буровзривні роботи. Також місто має розгалужену і глибоку систему зливу, які можуть обвалитися. Існує проблема збільшення витрат води, зростання обсягів промислового та міського будівництва, зміна природних русел річок, створення водозберігачів, затоплення оброблених шахт і кар'єрів, розвиток процесів підтоплення внаслідок недостатньої кількості дренажних споруджень, що, в свою чергу, може викликати підвищення сейсмічної небезпеки для промислових будівель на цій території. Найбільшою небезпекою піддається житловий фонд міста (16,7 млн м², 643 184 мешканців). Це 2-х, 3-х, 4-х, 5-и 9-и поверхові будівлі, які проектувалися ще в 1950 рр., і 12-и, 16-и і 20-и поверхові нові висотні будинки.

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Сейсмологами и геофизиками учёт спектрального состава землетрясений в теории сейсмозащиты не был принят, хотя предложения по этому вопросу существовали.

В 1921 году Н.Мононобе предложил динамическую теорию, где сейсмическая сила определяется с учётом частотного состава воздействия

$$S = K_c B Q, \quad (1)$$

где $K_c = \frac{\alpha}{a}$ – коэффициент сейсмичности; B – коэффициент динамичности, учитывающий частотный состав воздействия; Q – полная масса сооружения.

Коэффициент B определяется из предположения, что основание зданий совершает гармонические колебания.

Впервые определение коэффициента B по закону косинуса предложил К.С. Завриев в 1927 году.

В настоящее время имеется достаточно информации и опыта, чтобы посмотреть, что происходит с конструктивными системами при резонансном состоянии. Возникает вопрос при какой интенсивности сейсмического воздействия реально проявляется явление резонанса в зданиях [6, 7]. Наблюдение за явлениями сейсмического характера позволяет утверждать, что магнитуда до 7 баллов особого вреда не нанесет. Но это, не учитывая уже накопленные повреждения и износ элементов сооружения [8]. Для длительно эксплуатирующихся сооружений, даже небольшая магнитуда может привести к катастрофическим последствиям.

Кривой Рог в прямом смысле построен в паутине из выработок рудных шахт, которые имеют металлические надшахтные копры высотой более 100 м прослужившие не один десяток лет. За это время многие элементы копров уменьшили свое поперечное сечение или геометрические характеристики, что неуклонно ведет к уменьшению несущей способности и разрушению всего копра. Поэтому необходимо учитывать даже незначительные факторы, которые могут повлиять на устойчивость сооружения, а самое главное необходимо учитывать возможное увеличение магнитуды толчков земной коры в данном регионе.

Исследования, проводимые С.В. Щербиной, И.И. Пигулевским [9, 10] показали, что на низкой частоте больше всего выражена амплитуда величиной 0,188 Гц что близко к собственным колебаниям надшахтного копра шахты «Новая» (рис. 3) Наложение данных частот может привести к возникновению резонанса в сооружении и привести его к потере устойчивости.

Рассчитывать такого рода сочетания можно при помощи резонансного метода расчёта зданий на воздействие землетрясений. Основная расчётная формула

$$S = \left(\frac{\alpha}{g} + R \right) Q K, \quad (2)$$

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

где S – расчётная сейсмическая нагрузка;
 α – ускорение преобладающих частот ожидаемого воздействия;
 g – ускорение свободного падения;
 Q – полная масса здания (сооружения);
 R – резонансный коэффициент динамичности;
 K – коэффициент грунтовых условий.

$$R = \frac{T^2}{T_0^2 - T^2}, \quad (3)$$

где T_0 – период колебаний основания (преобладающие частоты);
 T – период собственных колебаний зданий (основной тон).

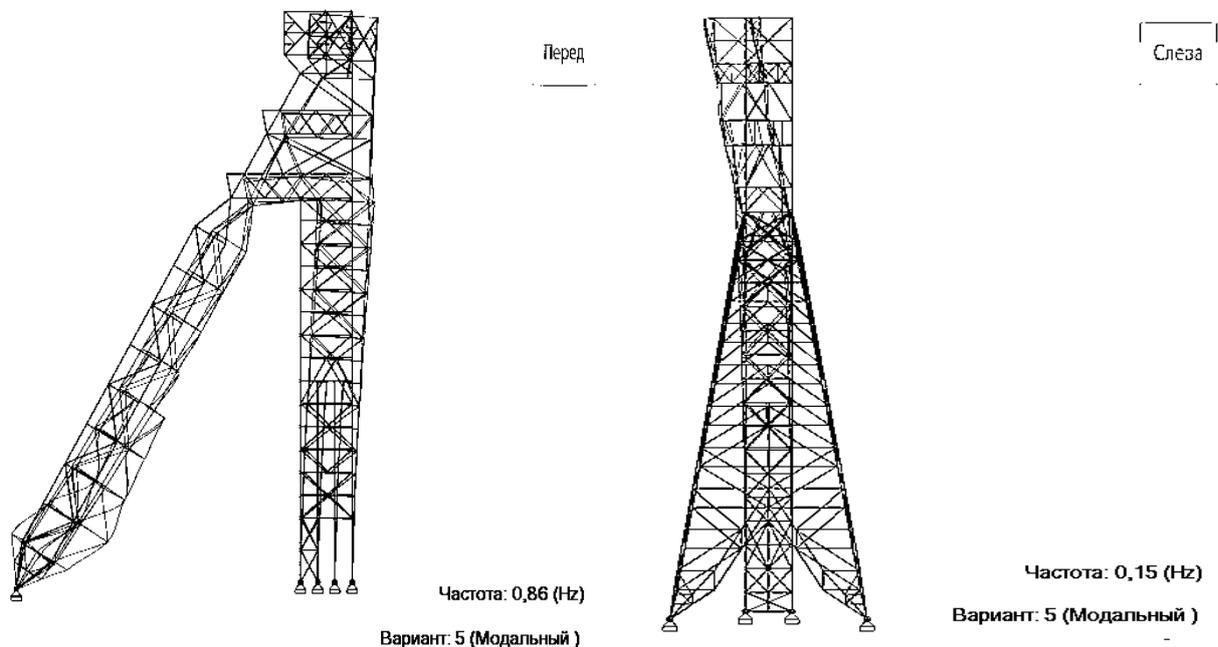


Рисунок 3 – Модальный расчет надшахтного копра в Robot Structural Analysis

ВЫВОДЫ. Таким образом, детальный анализ спектров собственных и вынужденных колебаний позволяет исследовать напряжённо-деформированное состояние системы и на основе соответствующих данных давать практические рекомендации по защите длительно эксплуатирующихся сооружений.

Сейсмическая активность вызывает низкочастотные колебания сооружений. При этом, поскольку они обладают большой массой, возникают значительные силы инерции и в различных местах конструкций возникают значительные механические напряжения сжатия-растяжения и сдвига. Если они превышают заложенную проектировщиками прочность материала в том или ином месте сооружение повреждается.

Проектирование осложняется тем, что в зависимости от спектра сейсмических колебаний, угла подхода волн к земной поверхности, типа и жесткости со-

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

оружения, формы и глубины заложения фундамента, гидрологических факторов могут одновременно возбуждаться разные пространственные формы колебаний как сооружения в целом, так и его конструктивных частей. Важной задачей является создание новых и уточнение существующих рекомендаций и нормативных документов, учитывающих влияние именно техногенных сейсмических воздействий.

Поэтому на сейсмоопасных территориях должны возводиться здания с антисейсмическим усилением в уязвимых местах конструкции и учетом возможной тенденции к возрастанию бальности региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. – Москва: Издательство Ассоциации Строительных Вузов, 1998. – 302 с.
2. Техногенные землетрясения в Кривбассе при добыче руд и проблема защиты от разрушения промышленных и гражданских сооружений / А.П. Иванова, Л.В. Феськова, О.И. Труфанова // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2016. – С. 110–114.
3. Феськова Л.В. Анализ проблемы техногенной сейсмичности // *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва* – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Випуск 1(15). – С. 114–122.
4. Теория колебаний: Учеб. для вузов / М.М. Ильин, К.С. Колесников, Ю.С. Саратов. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 272 с.
5. Расторгуев Б.С. Обеспечение живучести зданий при особых динамических воздействиях. // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. – 2003. – №4. – С. 45.
6. Иванова А.П., Чумак А.Н. Оптимальное проектирование стропильной металлической фермы с учетом возможных повреждений ее отдельных элементов // *Симферополь*. – 2014. – С. 12–17.
7. Мондрус В.Л., Смирнов В.А. Анализ существующих методик расчета зданий, расположенных вблизи очага землетрясения, на вертикальное сейсмическое воздействие // *Экспериментальные исследования в области сейсмостойкости сооружений – Развитие методов, результаты*. – 2004. – № 4. – С. 1–7.
8. Иванова А.П. Исследование долговечности центрально сжатых стержней с изменяющимися геометрическими характеристиками. *Науковий вісник НГУ*. – 2013. – № 3. – С. 36–38.
9. Оценка сейсмической опасности жилых зданий в г. Кривой Рог на основе микросейсмических наблюдений. / С.В. Щербина, П.И. Пигулевский, Т.В. Криль // *Геоинформатика*. – 2012. – № 4. – С. 66–72.
10. О сейсмическом событии в Кривбассе (Украина) и механизме его очага / П.И. Пигулевский, В.К. Свистун, С.В. Щербина // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. – 2015. – № 1 – С. 102–108.

**THE TECHNOGENIC SEISMICITY INFLUENCE
ON THE EMERGENCE OF RESONANCE IN THE STEEL HEADFRAMES**

A. Ivanova, L. Feskova, A. Chumak

«National Mining University»

prosp. Dmitry Yavornytsky, 19, Dnipro, 49000, Ukraine.

E-mail: ivaso94@mail.ru

Purpose. The purpose of the work is to consider the frequency composition of the seismic wave in the protection of structures against the resonance occurrence. **Methodology.** The urgency of creating new and refinement of existing recommendations and normative documents considering the impact of precisely technogenic seismic influences is stressed. The need to consider the frequency content of technogenic earthquakes, allowing for the necessary protection structures, especially long maintained, from the resonant action is considered and justified. As an example, the modal calculation of the headframe is presented in Robot Structure Analysis. **Findings.** At a low frequency, the amplitude of 0.188 Hz is most pronounced, which is near to the own oscillations of the headframe of the «Novaya» mine. Overlaying these frequencies can lead to resonance in the structure and lead to a loss of stability. Such combinations can be calculated using the resonant method of calculating constructions from earthquakes. **Originality.** During a long period of operation, many elements of the headframes have reduced their cross-section or geometric characteristics, which steadily leads to a decrease in the bearing capacity and destruction of the headframes. Therefore, it is necessary to consider even minor factors that may affect the stability of the structure, and most importantly, it is necessary to consider the possible to increase in the magnitude of the tremors of the earth's crust in this region. **Practical value.** A detailed analysis of the spectra of intrinsic and forced oscillations makes it possible to investigate the stress-strain state of the system and, based on relevant data, gives practical recommendations for the protection of long maintained facilities. **Conclusions.** The design is complicated by the fact that depending on the spectrum of seismic vibrations, the angle of approach of waves to the earth's surface, the type and rigidity of the structure, the form and depth of the foundation, hydrological factors, different spatial forms of oscillations can be simultaneously excited both in the structure and in its constructive parts. An important task is the creation of new and refinement of existing recommendations and normative documents that consider the impact of precisely technogenic seismic impacts. Therefore, constructions in earthquake-prone areas should be erected with anti-seismic reinforcement in vulnerable places and considering the possible trend towards an increase in the region's globality.

Key words: oscillations, resonance, seismic activity, technogenic earthquakes, protection from destruction, headframe, dynamic factor.

REFERENCES

1. Rayzer, V.D. (1998), «Теория надежности в строительном проектировании», Москва, *Izdatelstvo Assotsiatsii Stroitelnyih Vuzov*, pp. 302.
2. Ivanova, A.P., Feskova, L.V., Trufanova, O.I. (2016), «Tehnogenyie zemletryaseniya v Krivbasse pri dobyiche rud i problema zaschityi ot razrusheniya promyshlennyih i grazhdanskikh sooruzheniy», *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost*, no. 4, pp. 110-114.
3. Feskova, L.V. (2015), «Analiz problemyi tehnogennoy seysmichnosti», *ResursoenergozberegayuchI tehnologii glrничого virobnitstva*, no. 1, pp. 114–122.
4. Ilin, M.M., Kolesnikov, K.S., Saratov, Yu.S. (2003), «Теория колебаний: Ucheb. dlya vuzov», Москва, *MGTU im. N.E. Baumana*, pp. 272.
5. Rastorguev, B.S. (2003), «Обеспечение живучести зданий при особьих динамических воздействиях», *Seysmostoykoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy*, no. 4, pp. 45.
6. Ivanova, A.P., Chumak, A.N. (2014), «Optimalnoe proektirovanie stropilnoy metallicheskoj fermyi s uchetom vozmozhnyih povrezhdeniy ee otdelnyih elementov», *Simferopol*, pp. 12–17.
7. Mondrus, V.L., Smirnov, V.A. (2004), «Analiz suschestvuyuschih metodik rascheta zdaniy , raspolozhennyih vblizi ochaga zemletryaseniya, na vertikalnoe seysmicheskoe vozdeystvie», *Экспериментальные исследования в области сеysmostoyкости sooruzheniy – Razvitie metodov, rezulьtaty*, no. 4, pp. 1–7.
8. Ivanova, A.P. (2013), «Issledovanie dolgovechnosti tsentralno szhatyih sterzhney s izmenyayuschimisya geometricheskimi harakteristikami», *Naukoviy vIsnik NGU*, no. 3, pp. 36-38.
9. Scherbina, S.V., Pigulevskiy, P.I., Kril, T.V. (2012), «Otsenka seysmicheskoy opasnosti zhilyih zdaniy v g.Krivoy Rog na osnove mikroseysmicheskikh nablyudeniya», *Geoinformatika*, no. 4, pp. 66–72.
10. Scherbina, S.V., Pigulevskiy, P.I., Svistun, V.K. (2015) «O seysmichskom sobytii v Krivbasse (Ukraina) i mehanizme ego ochaga», *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya*, no. 1, pp. 102-108.

Стаття надійшла 11.12.2017.