

УДК 614.8

А. Б. Кусаинов<sup>1</sup>, К. А. Нарбаев<sup>2</sup>, К. Ж. Раимбеков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики  
Казахстан, Кокшетау, Казахстан

<sup>2</sup>Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан

## К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ РАННЕГО ОПОВЕЩЕНИЯ О ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

*Аннотация.* В статье проведено математическое моделирование эффективности действия системы раннего оповещения о землетрясениях. Определены основные временные интервалы прихода продольных и поверхностных сейсмических волн. Установлено, что население города Алматы не укладывается во временные интервалы после получения сообщения о землетрясении для совершения эвакуации из зданий и сооружений в безопасные места. Предложено использовать систему раннего оповещения о землетрясениях для автоматического отключения систем жизнеобеспечения населенного пункта в целях предотвращения вторичных чрезвычайных ситуаций.

*Ключевые слова:* система оповещения, землетрясение, сейсмические волны, время эвакуации.

В настоящее время во все процессы жизнедеятельности человеческого общества интенсивно внедряются информационные системы, в том числе и в обеспечение безопасности.

При внедрении различных систем, в том числе и информационных необходимо проводить моделирование, насколько они будут эффективны при возникновении различных аварий и чрезвычайной ситуации.

В городе Алматы в 2023 году внедряется система раннего оповещения о землетрясениях. Основная задача данной системы оперативное доведение информации до населения и экстренных служб о возникших землетрясениях для их последующего адекватного реагирования [1].

Проверим эффективность действия системы раннего оповещения о землетрясениях с помощью математического моделирования.

Одним из основных показателей необходимых при раннем оповещении о землетрясении является время  $t$ .

При математическом моделировании необходимо определить время  $t_{\text{прих}}$  прихода продольных и поверхностных волн землетрясения.

Время прихода продольных сейсмических волн определяется по формуле [2]:

$$t_1 = \frac{\sqrt{R^2 + H^2}}{V_{\text{пр}}}, \text{ с.} \quad (1)$$

где  $R$  – расстояние от эпицентра землетрясения, км;

$H$  – глубина гипоцентра, км;

$V_{\text{пр}}$  – средняя скорость распространения продольных волн, км/с.

Для гранита – 6,9 км/с; осадочных пород – 6,1 км/с; песчаники, известняки – 1,5-5,6 км/с; полускальные (гипс, мергель, глинистые сланцы) – 1,4-3,6 км/с; крупнообломочные (галька, гравий) – 1,1-2,1 км/с; насыпные грунты – 0,2-0,5 км/с; песок – 0,7-1,6 км/с; глина, суглинок, супесь – 0,5-1,5 км/с [2].

Время прихода поверхностных волн определяется по формуле [2]:

$$t_2 = \frac{H}{V_{пр}} + \frac{R}{V_{воп}}, \text{ с.} \quad (2)$$

где  $V_{воп}$  – скорость распространения поверхностных волн, км/с.

Для гранита – 5,6 км/с; щебень, гравия, гальки – 1,5 км/с; известняк – 4,0 км/с; песчаный грунт – 1,0 км/с; насыпные грунты – 0,35 км/с [2]. Предположим, что система раннего оповещения о землетрясениях зафиксировала, в 261 км от города Алматы (на территории Кыргызской Республики) на глубине 10 км произошло землетрясение интенсивностью XI ( $M = 9$  баллов по шкале Рихтера). Грунт на территории города состоит из осадочных пород поверх гранита.

По формуле (1) получим время прихода продольных волн:

$$t_1 = \frac{\sqrt{261^2 + 10^2}}{6,1} = 42,8 \text{ с.}$$

Время прихода поверхностных волн по формуле (2) составит:

$$t_2 = \frac{10}{6,1} + \frac{261}{1,5} = 175,6 \text{ с.}$$

Получаем, что основная сейсмическая волна землетрясения на территорию города Алматы придет через 175,6 с (2,9 мин).

Для фиксации, определения и передачи информации о возникшем землетрясении, системе раннего оповещения о землетрясениях с учетом времени инерционности  $t_{инер}$  понадобится около 7-12 с.

Получаем, что у населения после получения информации о землетрясении от системы раннего оповещения на решительные действия останется около 168,6 с.

Тогда необходимое время эвакуации людей составит [3]:

$$t_{эв} = \frac{0,8 \cdot 168,6}{60} = 2,25 \text{ мин} \approx 134,9 \text{ с.}$$

Время начала эвакуации рассчитывается по формуле:

$$t_{нэ} = t_{инер} + t_{нэ.min}, \text{ с.} \quad (3)$$

где  $t_{инер}$  – время инерционности системы раннего оповещения о землетрясении, с;

$t_{нэ}$  – время начала эвакуации, с.

Для определения времени начала эвакуации людей из зданий и сооружений воспользуемся [3], согласно которому минимальное время начала эвакуации людей при наличии системы оповещения для жилых домов, где люди могут находиться в состоянии сна, составляет 4,0 мин (240 с).

Подставляя данные значения в формулу (3) получаем:

$$t_{нэ} = 7 + 240 = 247 \text{ с.}$$

Получаем что, минимальное время начала эвакуации людей из зданий и сооружений при получении сообщения о землетрясении составляет 247 с.

При этом необходимо учесть, что людям для эвакуации потребуется время для передвижения по путям эвакуации до выхода наружу, которое будет зависеть от площади, этажности, ширины проемов и численности людей, находящихся в здании.

Проведем моделирование времени движения людей из 12 этажного жилого дома, где на одном этаже расположено по 6 квартир. Примем, что в каждой квартире проживает по 3 взрослых человека.

Для определения времени движения людей по участкам путей эвакуации с учетом их размеров помещений, необходимо определить плотность движения людского потока по формуле [3]:

$$D_n = \frac{N_n \cdot f}{L_n \cdot b_n}, \text{ м}^2 / \text{м}^2 \quad (4)$$

где  $N_n$  – число людей на первом участке, чел.;

$f$  – средняя площадь горизонтальной проекции человека,  $\text{м}^2/\text{чел.}$ ;

$L_n$  и  $b_n$  – длина и ширина первого участка пути, м.

С учетом плотности потока определяется время движения по каждому участку по формуле [4]:

$$t_n = \frac{L_n}{V_n}, \text{ мин} \quad (5)$$

Интенсивность движения в проеме рассчитывается по формуле [4]:

$$q_d = 2,5 + 3,75 \cdot b, \text{ м/мин} \quad (6)$$

при  $q_d < q_{max}$  движение через проем будет проходить беспрепятственно.

Время движения в проеме определяется по формуле [3]:

$$t_{dn} = \frac{N \cdot f}{q \cdot b}, \text{ мин} \quad (7)$$

Интенсивность движения на лестничном марше определяется по формуле [3]:

$$q_i = \frac{\sum q_{q-1} \cdot b_{i-1}}{b_i}, \text{ м/мин} \quad (8)$$

где  $b_i$ ,  $b_{i-1}$  – ширина рассматриваемого  $i$ -го и предшествующего ему участка пути, м;

$q_i$ ,  $q_{i-1}$  – значения интенсивности движения людского потока по рассматриваемому  $i$ -му и предшествующему участкам пути, м/мин.

Время эвакуации рассчитывается по формуле [3]:

$$t_p = t_{н.э.} + t_1 + t_{дн} + \dots + t_n, \text{ м/мин} \quad (9)$$

Проведенное моделирование показало, что расчетное время эвакуации из 12 этажного жилого дома составит, около 196,8 сек при условии, что жители своевременно получают (увидят, услышат) сигнал о землетрясении.

Сравнив полученное значение со временем прихода поверхностных сейсмических волн получаем, что  $t_p > t_2$  (196,8 сек > 175,2 сек).

Таким образом, расчетное время эвакуации больше времени прихода сейсмических волн. В связи с чем, не все жители рассматриваемого жилого дома успеют эвакуироваться.

Здесь также необходимо учитывать, что при расположении эпицентра землетрясения ближе рассматриваемого расстояния (261 км) сейсмическая волна дойдет до города значительно быстрее. Например, при расположении эпицентра на расстоянии 50 км, время прихода волны составляет – 52 сек.

Далее проведем моделирование интенсивности сейсмических колебаний на расстоянии 261 км от эпицентра.

Максимальная интенсивность землетрясения имеет место в эпицентре [5]:

$$J_0 = C_1 \cdot M - C_2 \lg H + C_3, \quad (10)$$

где  $J_0$  – интенсивность землетрясения в эпицентре, балл;  $M$  – магнитуда;  
 $H$  – глубина очага, км.

Среднее значение коэффициентов:  $C_1 = 1,5$ ;  $C_2 = 3,5$ ;  $C_3 = 3,0$  [5].

Интенсивность землетрясения уменьшается с увеличением расстояния  $L$  от эпицентра. Рихтер и Гуттенберг предположили следующую формулу для определения интенсивности землетрясения на различных расстояниях  $L > H$ .

$$J = J_0 - 6 \lg \frac{\sqrt{L^2 + H^2}}{H} + \Delta \quad (11)$$

где  $J$  – интенсивность землетрясения на расстоянии  $L$ , км, от эпицентра, балл;

$\Delta$  – поправка, учитывающая особенности местных геологических условий; величины  $J_0$ ,  $H$  имеют то же значение, что и в формуле (10).

Применительно к условиям нашей страны в приближенных расчетах допускается использовать соотношение [6]:

$$J = J_0 - 3,5 \lg \frac{\sqrt{L^2 + H^2}}{H} \quad (12)$$

Здесь под величиной  $J$  подразумевается осредненное значение интенсивностей землетрясения по различным направлениям на одном и том же расстоянии  $L$  от эпицентра, а величины  $J_0$ ,  $L$ ,  $H$  имеют тот же смысл, что и в формуле (11). При необходимости влияние местных геологических условий на величину  $J$  учитывается дополнительно.

Реальная интенсивность рассчитывается по формуле [7]:

$$J_{реал} = J - (1,6 - K_{ом}) \quad (13)$$

где  $K_{ом}$  – коэффициент грунта окружающей местности, на котором построены здания.

Рассчитаем максимальную интенсивность землетрясения в эпицентре:

$$J_0 = 1,5 \cdot 9 - 3,5 \lg 10 + 3 = 13$$

Подставив имеющиеся значения в формулу (12), рассчитаем интенсивность землетрясения на расстоянии 261 км:

$$J = 13 - 3,5 \lg \frac{\sqrt{261^2 + 10^2}}{10} = 8,1 \text{баллов}$$

Тогда реальная интенсивность на расстоянии 261 км составит [8]:

$$J_{реал} = 8,1 - (1,6 - 2,6) = 9,1 \text{баллов}$$

Проведенное математическое моделирование показывает, что информационные системы раннего оповещения о землетрясении запаздывают с передачей информации до населения о сейсмической опасности.

Задействование единого сигнала «Внимание всем» также потребует дополнительного времени для его подключения и обеспечения необходимого уровня звука для людей находящихся в зданиях и сооружениях. Минимальный звук сигналов системы оповещения должен достигать в помещениях не менее 70 дБА [9].

Раннее оповещение о землетрясении необходимо интегрировать с системами автоматического отключения газо-, водо-, электро-, теплоснабжения, а также остановки поездов и метро в целях снижения вторичных последствий.

Для обеспечения защиты и предотвращения паники среди населения необходимо пересмотреть существующие подходы обучения населения с учетом международного опыта и с внедрением неструктурной сейсмобезопасности. Население при ощущении первых сейсмолучков должно уметь правильно и оперативно принимать заблаговременно определенные безопасные места в зданиях и сооружениях.

#### Список литературы

1. Пучков В.А. Глобальная интеграция во имя спасения жизни людей // Советник Президента // Информационно-аналитическое издание. – 2015. – № 135. URL: [http://www.sovetnikprezidenta.ru/135/5\\_interpoliteh.html](http://www.sovetnikprezidenta.ru/135/5_interpoliteh.html)
2. Каррыев Б.С. Катастрофы в природе: землетрясения. Гипотезы, факты, причины, последствия. – SIBIS, 2009. – 522 с.
3. Национальный стандарт Республики Казахстан СТ РК 3020-2017 «Безопасность пожарная. Оценка пожарного риска. Метод определения расчетных величин пожарного риска в зданиях и сооружениях различных классов функциональной пожарной опасности».
4. Рашоян И.И. Расчетные методы оценки пожарного риска: электронное учебно-методическое пособие для студентов очной формы обучения / И.И. Рашоян. – Тольятти: ТГУ, 2017. – 225 с.

5. Методика прогнозирования последствий землетрясений. – М.: ВНИИ ГОЧС-ЦИЭКС–СЦ ИГЭ РАН, 2000. – 27 с.

6. Нигметов Г.М. Некоторые вопросы краткосрочного прогнозирования сейсмической опасности и риска. CATALOGUE of seismoforecasting research carried out in Azerbaijan territory in 2009. – С. 147-154.

7. Ларионов В. И., Нигметов Г. М., Суцев С. П., Угаров А. Н., Фролова Н. И. Оценка уязвимости и сейсмического риска с использованием ГИС-технологий от возникновения неустойчивости грунтовых оснований зданий при землетрясениях // Сейсмостойкое строительство. – 1999. – № 2.

8. Соболев Г. А. Основы прогноза землетрясений. – М.: Наука, 1993. – 312 с.

9. Строительные правила Республики Казахстан СП РК 2.02-102-2022\* «Пожарная автоматика зданий и сооружений». – Астана: Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства индустрии и инфраструктурного развития РК, 2022.

#### References

1. Puchkov V.A. Global'naya integraciya vo imya spaseniya zhizni lyudej // Sovetnik Prezidenta // Informacionno-analiticheskoe izdanie. – 2015. – № 135. URL: [http://www.sovetnikprezidenta.ru/135/5\\_interpoliteh.html](http://www.sovetnikprezidenta.ru/135/5_interpoliteh.html)

2. Karryev B.S. Katastrofy v prirode: zemletryaseniya. Gipotezy, fakty, prichiny, posledstviya. – SIBIS, 2009. – 522 s.

3. Nacional'nyj standart Respubliki Kazahstan ST RK 3020-2017 «Bezopasnost' pozharnaya. Ocenka pozharnogo riska. Metod opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska v zdaniyah i sooruzheniyah razlichnyh klassov funkcional'noj pozharnoj opasnosti».

4. Rashoyan I.I. Raschetnye metody ocenki pozharnogo riska: elektronnoe uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov ochnoj formy obucheniya / I.I. Rashoyan. – Tol'yatti: TGU, 2017. – 225 s.

5. Metodika prognozirovaniya posledstvij zemletryasenij. – М.: VNII GOCHS-CIEKS–SC IGE RAN, 2000. – 27 s.

6. Nigmatov G.M. Nekotorye voprosy kratkosrochnogo prognozirovaniya sejsmicheskoy opasnosti i riska. CATALOGUE of seismoforecasting research carried out in Azerbaijan territory in 2009. – S. 147-154.

7. Larionov V. I., Nigmatov G. M., Sushchev S. P., Ugarov A. N., Frolova N. I. Ocenka uyazvimosti i sejsmicheskogo riska s ispol'zovaniem GIS-tekhnologij ot vozniknoveniya neustojchivosti gruntovyh osnovanij zdaniy pri zemletryaseniyah // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. – 1999. – № 2.

8. Sobolev G. A. Osnovy prognoza zemletryasenij. – М.: Nauka, 1993. – 312 s.

9. Stroitel'nye pravila Respubliki Kazahstan SP RK 2.02-102-2022\* «Pozharnaya avtomatika zdaniy i sooruzhenij». – Астана: Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства индустрии и инфраструктурного развития РК, 2022.

А. Б. Құсайынов<sup>1</sup>, Қ. Ә. Нарбаев<sup>2</sup>, К. Ж. Раимбеков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы,  
Көкшетау, Қазақстан*

<sup>2</sup>*Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау, Қазақстан*

## ЖЕР СІЛКІНІСТЕРІ ТУРАЛЫ ЕРТЕ ХАБАРЛАУ ЖҮЙЕСІНІҢ ТИІМДІЛІГІ ТУРАЛЫ МӘСЕЛЕГЕ

*Аңдатпа.* Мақалада жер сілкінісі туралы ерте хабарлау жүйесінің тиімділігін математикалық модельдеу жүргізілді. Бойлық және беттік сейсмикалық толқындардың келуінің негізгі уақыт аралықтары айқындалды. Алматы қаласының тұрғындарының жер сілкінісі туралы хабарлама алғаннан кейін ғимараттар мен құрылыстардан қауіпсіз орындарға эвакуациялану үшін уақыт аралықтары жетпейтіні анықталды. Қайталама төтенше жағдайлардың алдын алу мақсатында елді мекеннің тіршілігін қамтамасыз ету жүйелерін автоматты түрде ажырату үшін жер сілкінісі туралы ерте хабарлау жүйесін пайдалану ұсынылды.

*Түйінді сөздер:* хабарлау жүйесі, жер сілкінісі, сейсмикалық толқындар, эвакуациялау уақыты.

A. B. Kusainov<sup>1</sup>, K. A. Narbayev<sup>2</sup>, K. Zh. Raimbekov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan,  
Kokshetau, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*Kokshetau University named after Sh. Ualikhanov, Kokshetau, Kazakhstan*

## ON THE QUESTION OF THE EFFECTIVENESS OF THE EARTHQUAKE EARLY WARNING SYSTEM

*Abstract.* The article carried out mathematical modeling of the effectiveness of the earthquake early warning system. The main time intervals of arrival of longitudinal and surface seismic waves are determined. It has been established that the population of Almaty does not fit into time intervals after receiving an earthquake message to evacuate buildings and structures to safe places. It is proposed to use an earthquake early warning system to automatically turn off the life support systems of a settlement in order to prevent secondary emergencies.

*Keywords:* warning system, earthquake, seismic waves, evacuation time.

**Авторлар туралы мәлімет / Сведения об авторах / Information about the authors**

*Арман Болатұлы Құсайынов* – техника ғылымдарының кандидаты, Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясының қашықтықтан оқыту факультетінің бастығы. Қазақстан, Көкшетау, Ақан Сері көшесі, 136. E-mail: arman\_1703@mail.ru

*Қалижан Әнуарбекұлы Нарбаев* – PhD докторы, қауымдастырылған профессор (доцент), Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университетінің «Тау-кен ісі, құрылыс және экология» кафедра профессорының ассистенті. Қазақстан, Көкшетау, Қуанышев к-сі, 170 а. E-mail: Kalizhan76@mail.ru

*Кендебай Жанабилұлы Райымбеков* – физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университетінің «Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар» кафедра профессорының ассистенті. Қазақстан, Көкшетау, Қуанышев көшесі, 170 а. E-mail: kendeбай\_63@mail.ru

*Кусаинов Арман Булатович* – кандидат технических наук, начальник факультета дистанционного обучения Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан. Казахстан, Кокшетау, ул. Акан Серэ, 136. E-mail: arman\_1703@mail.ru

*Нарбаев Калижан Ануарбекович* – доктор PhD, ассоциированный профессор (доцент), ассистент профессора кафедры «Горное дело, строительства и экологии» Кокшетауского университета им. Ш. Уалиханова. Казахстан, Кокшетау, улица Куанышева, 194. E-mail: Kalizhan76@mail.ru

*Раимбеков Кендебай Жанабилевич* – кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор (доцент), ассистент профессора кафедры «Информационно-коммуникационных технологий» Кокшетауского университета им. Ш. Уалиханова. Казахстан, Кокшетау, ул. Куанышева 170 а. E-mail: kendeбай\_63@mail.ru

*Arman B. Kussainov* – candidate of Technical Sciences, Head of the Faculty of Distance Learning of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan. Kazakhstan, Kokshetau, 136 Akan Sere str. E-mail: arman\_1703@mail.ru

*Kalizhan A. Narbayev* – PhD, Associate Professor, Assistant Professor of the Department of «Mining, Construction and Ecology» of the Kokshetau University named after Sh. Ualikhanov. Kazakhstan, Kokshetau, 194 Kuanyshhev street. E-mail: Kalizhan76@mail.ru

*Kendeбай Zh. Raimbekov* – candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, assistant Professor of the Department of «Information and Communication Technologies» of the Kokshetau University named after Sh. Ualikhanov. Kazakhstan, Kokshetau, 170 a Kuanyshhev street. E-mail: kendeбай\_63@mail.ru