

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ОПОР БУРОВЫХ ПЛАТФОРМ НА ШЕЛЬФЕ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Шереметов Иван Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: shrmtv@mail.ru

Серебряков Олег Иванович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: geologi2007@yandex.ru

Григорян Рафик Таронович, аспирант, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

Серебряков Андрей Олегович, старший преподаватель, магистр, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: geologi2007@yandex.ru

В рамках прогнозирования взаимодействия системы «платформа – шельф» предусмотрено выполнение расчётов устойчивости основания. Процесс погружения опор самоподъёмных плавучих буровых установок (СПБУ) в донный грунт сопровождается развитием областей пластических деформаций, перетеканием грунтовых масс, формированием зон уплотнения и разуплотнения, что обуславливает существенные изменения параметров грунта. Актуальным является уточнение характеристик основания после постановки платформы на точку бурения. С этой целью предлагается осуществлять геотехнический мониторинг основания опор СПБУ с применением геофизических методов. В результате мониторинговых наблюдений появляется возможность оперативно выполнять прогнозные расчёты на основе данных. Они отражают фактическое состояние грунтов, подстилающих опорные элементы СПБУ. На интерпретацию полученных результатов влияет многофакторность изменений отражённого сигнала. Исследуемую среду в рамках обсуждаемого вопроса можно считать детерминированной системой, что даёт возможность применения для дальнейшего исследования асимптотических методов.

Ключевые слова: Самоподъёмная плавучая буровая установка, шельф, устойчивость, геотехнический мониторинг, асимптотический метод

FORECASTING OF BEHAVIOUR OF DRILLING PLATFORM SUPPORT ON THE SHELF OF THE NORTH CASPIAN SEA

Sheremetov Ivan M., C.Sc. in Engineering, Associate Professor, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev st., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: shrmtv@mail.ru

Serebryakov Oleg I., D.Sc. in Geology and Mineralogy, Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyan st., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: geologi2007@yandex.ru

Grigoryan Rafik T., post-graduate student, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev st., Astrakhan, 414056, Russian Federation

Serebryakov Andrey O., Senior Lecturer, Master, Astrakhan State University, 1 Shaumyan st., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: geologi2007@yandex.ru

Forecasting the process of interaction of the platform- offshore system includes the implementation of calculations of the stability of the base. The process of immersing

the supports of Jack-up drilling rig into the bottom soil is accompanied by the development of areas of plastic deformations, ground flow, formation of compaction zones and decomposition. This causes significant changes in soil parameters. Relevant is the refinement of the characteristics of the base after the platform is placed at the drilling point. For this purpose, it is proposed to carry out geotechnical monitoring of the base of Jack-up using geophysical methods. In the context of this task, it is necessary to ensure the reliability of determining the strength characteristics of the underlying sediments of bottom sediments at any given time. The application of the geophysical method makes it possible to quickly perform predictive calculations based on actual information. In the process of geomonitoring, the actual state of the soils underlying the platform is reflected. The interpretation of the results obtained is influenced by the multifactority of the changes in the reflected signal. The considered medium in this case can be considered as a deterministic system, which makes it possible to apply asymptotic methods for further research.

Keywords: Jack-up drilling rig, offshore, stability, geotechnical monitoring, asymptotic method

Северная часть Каспия расположена на докембрийском основании и входит в состав Прикаспийской синеклизы Восточно-Европейской платформы. Разновозрастные блоки коры, отличающиеся как в литолого-стратиграфическом, так и в тектоническом отношении перекрываются впадиной Каспийского моря. Данная впадина простирается в субмеридиональном направлении [11]. Терригенные отложения плиоцена, образующие красноцветную продуктивную толщу, обеспечивают притоки углеводородов. В отношении нефтегазоносности шельф Каспийского моря рассматривается как перспективный.

Накопившийся опыт использования буровых платформ обуславливает совершенствование прогноза взаимодействия системы «платформа – шельф» на стадиях эксплуатации. Рассмотрим этот вопрос применительно к наиболее популярным мобильным буровым платформам – самоподъёмным буровым установкам (СПБУ).

Известно, что способность башмака опоры СПБУ сопротивляться сдвигающим усилиям определяется деформационными и прочностными свойствами грунтов, подстилающих и окружающих заглублённую часть опоры [1]. В проектное положение башмак погружается задавливанием его с применением домкратов, что формирует в отношении донного грунта так называемые сложные нагружения [3]. Предполагаемая схема разрушения грунта по потенциальным площадкам сдвига при указанных нагружениях хорошо подтверждается экспериментами [2]. Однако достоверность полученного прогноза поведения системы «платформа – шельф» зависит в том числе от корректно выбранной модели среды. Учитывая необходимость отражения дилатансии грунта в предельном состоянии, целесообразно применять соотношения неассоциированного закона пластического течения.

Как ранее отмечалось [4], специфика прогнозирования процессов, происходящих в основании опор СПБУ, сопряжена с тем, что погружение опорных башмаков в проектное положение может сопровождаться существенным изменением характеристик грунта. Задавливание опор в грунт морского дна производится на глубину, соизмеримую с размером опорного башмака. При этом развивается комплекс явлений, сопряжённых с уплотнением грунта, как следствие, отжимом поровой воды, переходом локальных областей в пластическое состояние, выпором грунта вокруг опор и пр. Таким образом, полученная с применением прямых методов информация о состоянии донных грунтов актуальна лишь на первой стадии постановки сооружения на шельф. На рисунке 1 показано распределение напряжений в массиве донного грунта вокруг баш-

мака СПбУ. Сгущение изолиний нормальных напряжений σ_x над и под плоскостью башмака, а также изолиний касательных напряжений τ_{xy} у обреза башмака хорошо иллюстрируют этот факт.

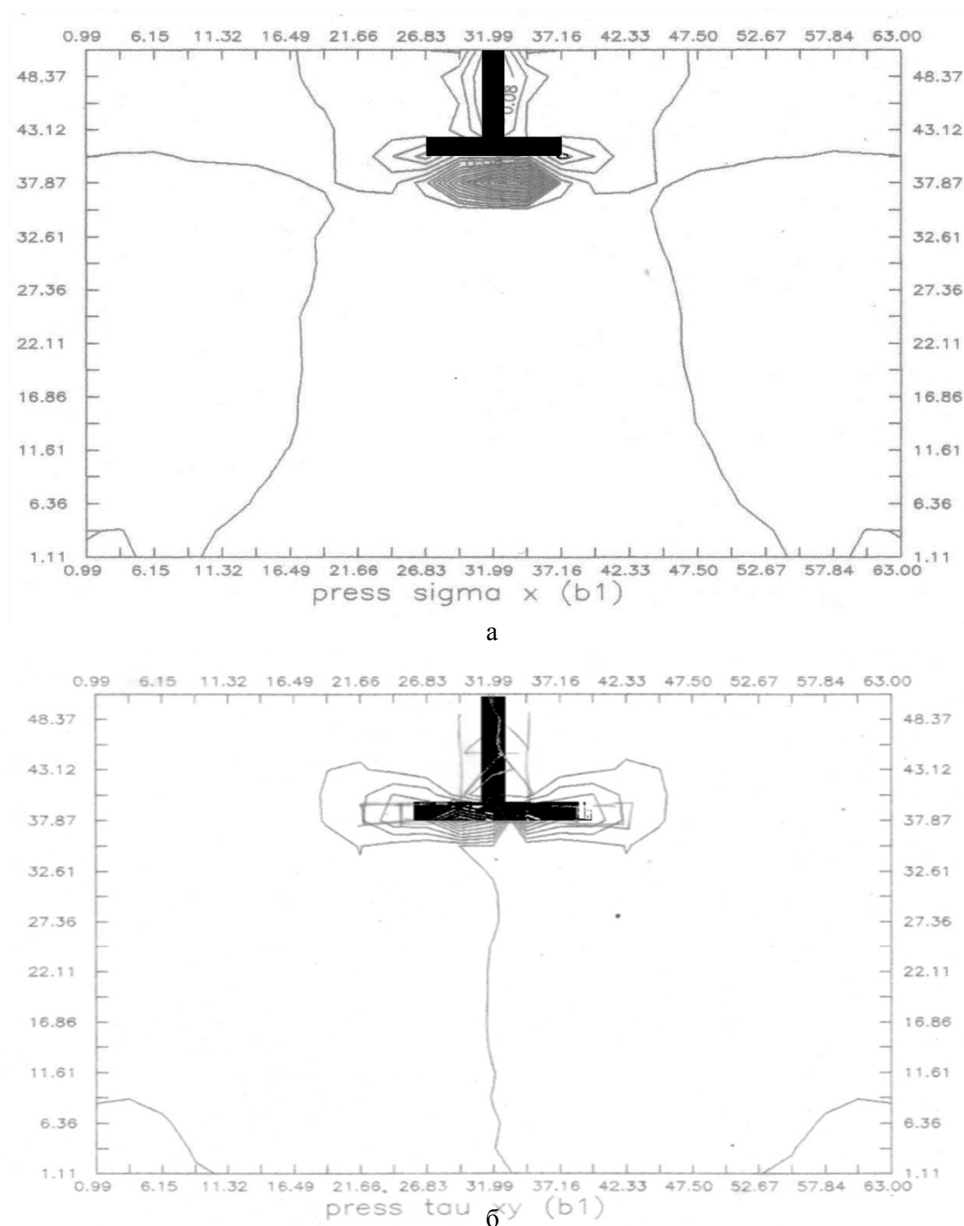


Рис. 1. Изолинии напряжений в латеральной плоскости вокруг опоры СПбУ
 а – изолинии напряжений σ_x , б – изолинии напряжений τ_{xy}

Проведённый анализ приводит к выводу о заметном влиянии первичного нагружения на сопротивляемость донных грунтов как вертикальным, так и сдвигающим усилиям. Один из важных элементов оценки надёжности и безопасности буровой платформы является расчёт устойчивости опор на сдвиг [3, 4]. Причём сдвиг прогнозируется по сложной траектории: с поворотом вокруг некоего центра, положение которого определяется отдельно. При выполнении указанных

расчётов оценка возможной потери устойчивости непосредственно зависит от прочностных параметров донного грунта вокруг опоры платформы на текущий момент. Как отмечено выше, результаты определения характеристик донного грунта, полученные на стадии инженерных изысканий до начала постановки платформы на точку бурения, требуют уточнения [13]. Следовательно, для оценки взаимодействия опорной части буровой платформы с основанием информацию о состоянии донных отложений необходимо актуализировать [6].

Технологическая возможность уточнения исходных данных для проверочных расчётов реализуется с применением геофизического оборудования [7]. Эффективным в решении данной задачи является использование георадара. Опираясь на эталонные результаты зондирования, коррелирующие с параметрами, полученными прямыми методами, отслеживаются любые текущие изменения интересующего массива донных отложений. Мониторинговые наблюдения позволят оперативно выполнять прогнозные расчёты на основе данных, отражающих фактическое состояние грунтов, подстилающих опорные элементы СПБУ. В момент времени, предусмотренный программой геотехнического мониторинга, обеспечивается возможность получения информации об изменении параметров основания во всех точках области зондирования. На основании откорректированных данных проверка соблюдения условия прочности грунта основания СПБУ может иметь неограниченное число итераций.

В процессе высокочастотного зондирования излучаемая электромагнитная волна отражается от границ областей с различающейся диэлектрической проницаемостью и проводимостью [12]. Именно отражённый сигнал формирует радарограммы (рис. 2). На интерпретацию полученных результатов влияет многофакторность изменений отражённого сигнала [8]. Регистрируемый сигнал при отражении от более проводящей (более плотной) среды меняет свою полярность. При отражении от менее плотной среды полярность сигнала сохраняется. Граница сред (граница пластов, уплотнённых зон и т.д.) может быть нечёткой. В этом случае отражение сигнала растягивается по времени. Кроме того, при слишком низкой проводимости среды сигнал затухает, при высокой проводимости – происходят дисперсные искажения в низкочастотном диапазоне [9].

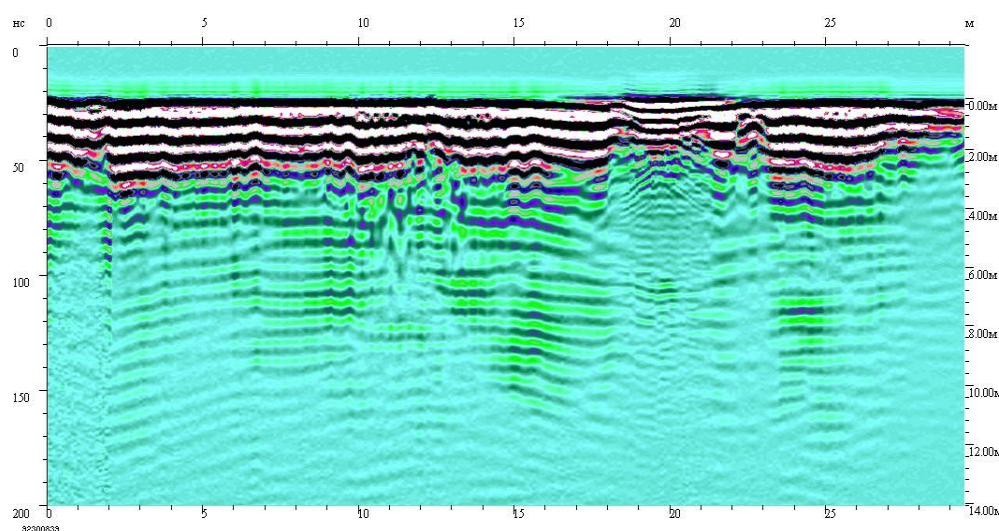


Рис. 2. Радарограмма с выявленными зонами разуплотнения

Следует отметить, что перманентное поступление информации о меняющихся характеристиках среды обуславливает необходимость системного обобщения полученных результатов. Исходя из того, что регистрируемые параметры обладают слабыми нелинейностями, процесс их изменения может быть представлен линейными системами обыкновенных дифференциальных уравнений [5]. Исследуемую среду в рамках обсуждаемого вопроса можно считать детерминированной системой, что даёт возможность применения для дальнейшего исследования асимптотических методов. Если учитывать случайную природу явлений, влияющих на изменение диэлектрической проницаемости исследуемой среды, система будет описываться стохастическим дифференциальным уравнением.

Применительно к медленно меняющимся средам эффективным является асимптотический метод, предложенный для решения трёхмерных задач [10]. Здесь проблемы определения значения диэлектрических проницаемостей подсистем при использовании формул смешения решаются приёмом интерпретации данных в каждой точке отдельно с уточняющей поправкой. Действительно, релаксационные характеристики поляризации Максвелла – Вагнера для полностью водонасыщенных сред вполне могут находиться вне области выполнения самой поляризации и, соответственно, вне справедливости той либо иной формулы смешения. В этой связи предложенный [8] метод построения асимптотики решения прямых трёхмерных задач является эффективным в прикладных исследованиях.

Возможности мониторинга изменений грунтовой среды с учётом специфики напластований Северного Каспия отмечалась ранее [14]. Таким образом, опираясь на технологии геофизических методов, обеспечивается актуальное прогнозирование поведения опор буровых платформ на каспийском шельфе. Предлагаемый способ получения и обработки информации о состоянии подстилающих донных грунтов в процессе эксплуатации СПБУ повышает эффективность превентивных решений, предотвращающих аварийные ситуации в акватории.

Список литературы

1. Бугров А. К. Механика грунтов : учеб. пос. / А. К. Бугров. – Санкт-Петербург : Политехнический ун-т, 2007. – 287 с.
2. Бугров А. К. Исследование грунтов в условиях трехосного сжатия / А. К. Бугров, Р. М. Нарбут, В. П. Сипидин. – Ленинград, 1987. – 184 с.
3. Бугров А. К. Взаимодействие трехопорной СПБУ с грунтом морского дна / А. К. Бугров, И. М. Шереметов // Проблемы нелинейной механики грунтов. – Йошкар-Ола, 1991. – С. 63–65.
4. Бугров А. К. Устойчивость самоподъемных плавучих буровых установок при плоском сдвиге с поворотом / А. К. Бугров, И. М. Шереметов // Гидротехническое строительство. – 1992. – № 5. – С. 70–72.
5. Бутузов В. Ф. Асимптотические методы в теории обыкновенных дифференциальных уравнений / В. Ф. Бутузов, А. Б. Васильева, М. В. Федорук // Progress in Mathematics. – 1970. – № 8. – С. 1–82.
6. Григорян Р. Т. Вопросы актуализации параметров основания самоподъемных буровых платформ / Р. Т. Григорян // Проблемы теории и практики современной науки : мат-лы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (19 сентября 2017 г.). – Москва : Перо, 2017. – С. 159–163.
7. Григорян Р. Т. Геоэкологический аспект эксплуатации самоподъемных буровых установок / Р. Т. Григорян // Интеграция науки и практики в современных условиях : мат-лы X Междунар. науч.-практ. конф. (19 октября 2017 г.). – Москва : Перо, 2017. – С. 102–106.
8. Дмитриев В. И. Численное моделирование в геофизических исследованиях / В. И. Дмитриев, Д. Б. Новиков, Э. А. Федорова. – Москва : Моск. гос. ун-т, 1987. – 112 с.

9. Копейкин В. В. Распространение электромагнитных импульсов в подземной среде / В. В. Копейкин // Ставрополь – георадар. – Режим доступа: <http://www.geo-radar.ru/articles/article5.php>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 21.04.2018).
10. Новиков Д. Б. Об одном подходе к решению трехмерных обратных задач магнитотелляурического зондирования земной коры / Д. Б. Новиков // Условно-корректные задачи математической физики : тез. всесоюз. конф. – Алма-Ата, 1989. – С. 68.
11. Серебряков А. О. Геология России. Региональная геология : учеб. / А. О. Серебряков, Н. Ф. Фёдорова, С. А. Абакумова. – Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2010. – 320 с.
12. Финкельштейн М. И. Подповерхностная радиолокация / М. И. Финкельштейн, В. И. Карпунин, В. А. Кутев, В. Н. Метелкин. – Москва, 1994. – 216 с.
13. Шереметов И. М. Мониторинг основания самоподъёмных буровых установок геофизическими методами / И. М. Шереметов // Геология, география и глобальная энергия. – 2014. – № 1. – С. 49–59.
14. Шереметов И. М. Использование метода георадиолокации для целей сейсмического микрорайонирования в нефтегазоносных регионах Нижнего Поволжья и Северного Каспия / И. М. Шереметов, А. Ю. Курдюк, О. И. Серебряков, В. И. Серебрякова // Геология, география и глобальная энергия. – 2015. – № 1. – С. 83–92.

References

1. Bugrov A. K. *Mekhanika gruntov* [Soil Mechanics], Saint Petersburg, Polytechnic University Publ. House, 2007. 287 p.
2. Bugrov A. K., Narbut P. M., Sipidin V. P. *Issledovanie gruntov v usloviyakh trekhosnogo szhatiya* [Soil analysis in a triaxial compression], Leningrad, 1987. 184 p.
3. Bugrov A. K., Sheremetov I. M. Vzaimodeystvie trekhopornoy SPBU s gruntom morskogo dna [Jack-up three-point interaction with the soil of the seabed]. *Problemy nelineynoy mekhaniki gruntov* [Problems of Nonlinear Soil Mechanics], Yoshkar-Ola, 1991, pp. 63–65.
4. Bugrov A. K., Sheremetov I. M. Ustoychivost samopodemnykh plavuchikh burovyykh ustanovok pri ploskom sdvige s povorotom [Stability of jack-up drilling rigs for flat shift with rotation]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering], 1992, no. 5, pp. 70–72.
5. Butuzov V. F., Vasileva A. B., Fedoryuk M. V. Asimptoticheskie metody v teorii obyknennykh differentsialnykh uravneniy [Asymptotic methods in the theory of ordinary differential equations]. *Progress in Mathematics*, 1970, no. 8, pp. 1–82.
6. Grigoryan R. T. Voprosy aktualizatsii parametrov osnovaniya samopodemnykh burovyykh platform [Issues of actualization of the parameters of the base of jack-up drilling platforms]. *Problemy teorii i praktiki sovremennoy nauki : materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (19 sentyabrya 2017 g.)* [Problems of Theory and Practice of Modern Science. Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference (September 19, 2017)], Moscow, Perot Publ., 2017, pp. 159–163.
7. Grigoryan R. T. Geoekologicheskiy aspekt ekspluatatsii samopodemnykh burovyykh ustanovok [Geoeological aspect of the operation of jack-up drilling rigs]. *Integratsiya nauki i praktiki v sovremennykh usloviyakh : materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (19 oktyabrya 2017 g.)* [Integration of Science and Practice in Modern Conditions. Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference (October 19, 2017)], Moscow, Perot Publ., 2017, pp. 102–106.
8. Dmitriev V. I., Novikov D. B., Fedorova E. A. *Chislennoe modelirovanie v geofizicheskikh issledovaniyakh* [Numerical modeling in geophysical studies], Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ. House, 1987. 112 p.
9. Kopeykin V. V. Rasprostraneniye elektromagnitnykh impulsov v podzemnoy srede [Propagation of electromagnetic pulses in the underground environment]. *Stavropol – georadar* [Stavropol – penetrating radar]. Available at: <http://www.geo-radar.ru/articles/article5.php> (accessed: 21.04.2018).
10. Novikov D. B. Ob odnom podkhode k resheniyu trekhmernykh obratnykh zadach magnitotellauricheskogo zondirovaniya zemnoy kory [About one approach to the solution of three-dimensional inverse problems. Magnetotellauric sounding of the earth's crust]. *Uslovno-korrektnye zadachi mate-maticheskoy fiziki. Tezisy vsesoyuznoy konferentsii* [Conditionally Correct Problems of Mathematical Physics. Proceedings of the All-Union Conference], Alma-Ata, 1989, p. 68.
11. Serebryakov A. O., Fedorova N. F., Abakumova S. A. *Geologiya Rossii. Regionalnaya geologiya* [Geology of Russia. Regional geology], Astrakhan, Astrakhan University Publ. House, 2010. 320 p.

12. Finkelshteyn M. I., Karpukhin V. I., Kutev V. A., Metelkin V. N. *Podpoverkhnostnaya radiolokatsiya* [Subsurface radar], Moscow, 1994. 216 p.

13. Sheremetov I. M. Monitoring osnovaniya samopodemnykh burovnykh ustanovok geofizicheskimi metodami [Monitoring of the base of jack-up drilling rigs by geophysical methods]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2014, no. 1, pp. 49–59.

14. Sheremetov I. M., Kurdyuk A. Yu., Serebryakov O. I., Serebryakova V. I. Ispolzovanie metoda georadiolokatsii dlya tseley seysmicheskogo mikrorayonirovaniya v neftegazonosnykh regionakh Nizhnego Povolzhya i Severnogo Kaspiya [Using the georadiolocation method for seismic microzoning in the oil and gas regions of the Lower Volga and Northern Caspian]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2015, no. 1, pp. 83–92.

СЕЙСМОМИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ ГОРОДА ЖЕЛЕЗНОГОРСКА

Сеелев Игорь Николаевич, директор, Изотопно-химический завод (ИХЗ) ФГУП «Горно-химического комбината», 662972, Российская Федерация, Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Ленина, 53, e-mail: atom-link@mcc.krasnoyarsk.su

Леонцев Алексей Валентинович, заместитель главного инженера, Изотопно-химический завод (ИХЗ) ФГУП «Горно-химического комбината», 662972, Российская Федерация, Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Ленина, 53, e-mail: atom-link@mcc.krasnoyarsk.su

Хафизов Роберт Рафаэлевич, директор, ООО «Геолком», 662974, Российская Федерация, Красноярский край, г. Железнодорожск, п. Додоново, ул. Луговая, 10, e-mail: geolkom@yandex.ru

Перетокин Сергей Александрович, главный инженер, ООО «Геолком», 662974, Российская Федерация, Красноярский край, г. Железнодорожск, п. Додоново, ул. Луговая, 10, e-mail: geolkom@yandex.ru

Панасенко Николай Никитович, доктор технических наук, профессор, директор, ООО «Подъемные сооружения», 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16ж, оф. 36, e-mail: psastr@mail.ru

Синельщиков Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 414056, Российская Федерация, Астраханская область, г. Астрахань, ул. Татищева, 18, e-mail: laex@bk.ru

Яковлев Павел Викторович, доктор технических наук, профессор, директор, ООО «Подъемные сооружения», 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16ж, оф. 36, e-mail: astral37@mail.ru

В основу сейсмомикрорайонирования строительной площадки ОИАЭ г. Железнодорожска положено взаимодействие двух моделей – модели сейсмических источников землетрясений и модели сейсмического эффекта, основанного на повторяемости землетрясений в рассматриваемом регионе, определяющих пространственное и временное распределение сейсмичности. Вероятностный анализ сейсмической опасности в регионе сводится к созданию синтезированного каталога землетрясений за наперед заданный период времени с установленной повторяемостью в зависимости от удаления объекта от источника с шагом по магнитуде. Расчет сейсмической интенсивности осуществлен на основе геологической и сейсмологической информации об объекте, а также грунтах по 3D-модели с использованием метода сейсмических жесткостей. Синтезированный каталог землетрясений построен для нормативных периодов повторяемости 1000 лет (ПЗ) и 10000 лет (МРЗ) на основе площадных и линейных зон ВОЗ и