

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ТИКСОТРОПНЫЕ СВОЙСТВА ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

Шереметов Иван Михайлович, кандидат технических наук, государственный строительный эксперт, Государственная экспертиза проектов, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Коммунистическая, 4, e-mail: shrmtv@mail.ru

Серебряков Андрей Олегович, старший преподаватель, магистр, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: geologi2007@yandex.ru

Айтურიев Арман Халидуллаевич, государственный строительный эксперт, Государственная экспертиза проектов, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Коммунистическая, 4, arman_ast@list.ru

Геомониторинг системы осадочных пород показывает, что взаимному воздействию подвержены все компоненты природно-технических систем. Для принятия обоснованных решений проведён общий геологический анализ происходящих процессов. Специфической особенностью исследуемых систем является совокупность статических и динамических нагрузок. При исследовании установлено, что в результате геолого-динамических воздействий в период эксплуатации промышленных объектов и агрегатов массивы пород, являясь слоистой коагуляционной структурой, ярко проявляет тиксотропию. Иницирующиеся в осадочной среде процессы периодического перехода геля в золь и обратно не позволяют эксплуатировать оборудование в штатном режиме. Решение выявленных проблем найдено в замещении гравитационных подземных вод в породах посредством полимеризационных процессов. Оптимальным методом укрепления обводнённых и пластичных пород в промышленных установках является использование геополимерного компаунда.

Ключевые слова: геомониторинг, динамические нагрузки, тиксотропия, гель, золь, геополимерный компаунд

REGIONAL THIXOTROPIC PROPERTIES OF SEDIMENTARY ROCKS

Sheremetov Ivan M., C.Sc. in Engineering, State Construction Expert, State Examination of Projects, 4 Kommunisticheskaya st., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: shrmtv@mail.ru

Serebryakov Andrey O., Senior Teacher, Master, Astrakhan State University, 20a Tatishchev st., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: geologi2007@yandex.ru

Ayturiyev Armand H., State Construction Expert, State Examination of Projects, 4 Kommunisticheskaya st., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: arman_ast@list.ru

Geomonitoring of system of sedimentary rocks shows that all components of the natural and technical systems are subject to mutual influence. For adoption of the justified decisions the general geological analysis of the happening processes is carried out. Specific feature of the studied systems is the set of static and dynamic loads. At probe it is established what as a result of geological and dynamic influences during operation of industrial facilities and units massifs of breeds, being layered coagulative structure, brightly shows thixotropy. The processes of periodic transition of gel to sol which are initiated in the sedimentary environment also back do not allow to operate the equipment in the normal mode. The solution of the revealed problems is found in replacement of

gravitational underground waters in breeds by means of polymerization processes. Optimum method of strengthening of the flooded and plastic breeds in plants is use of geopolymeric compound.

Keywords: geomonitoring, dynamic loads, thixotropy, gel, sol, geopolymer compound

Теплоэлектростанции являются основными энергогенерирующими мощностями энергетических предприятий. Такие комплексы промышленного назначения с позиций многокомпонентного техногенного влияния на окружающую геологическую среду можно рассматривать как комплексные системы, включающие совокупность объектов наземного и подземного исполнения, интегрированную в континуум с определёнными физико-механическими свойствами, меняющимися под воздействием поведения системы.

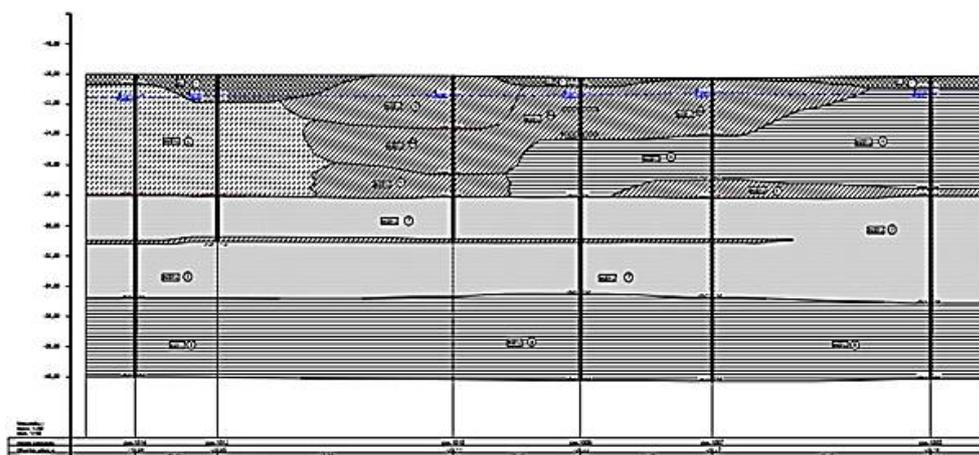
Геомониторинг урбанизированных территорий показывает, что взаимному воздействию подвержены все компоненты комплексной системы [15]. В процессе эксплуатации производственных сооружений и объектов в промышленных зонах геологическая среда претерпевает изменение не только в геоэкологическом аспекте, но и в физико-механическом. Такие трансформации изучаются, например, в рамках решения задач использования земельных участков при изменении их назначения [16].

В административном отношении промышленный объект опытно-производственных исследований находится в Приволжском районе Астраханской области на территории ТЭЦ-2. На рисунке 1 показано расположение основного корпуса, где размещены турбоагрегаты, на территории предприятия. Предметом опытных исследований являются причины изменения механического поведения основания и фундамента объекта и сооружений турбоагрегата под специфической нагрузкой.



Рис. 1. Основной корпус ТЭЦ-2

Инженерно-геологические изыскания в процессе исследования были актуализированы на основе геологических и технических отчётов и лабораторных работ. Разрез массива грунта, слагающего основание промышленного объекта, представлен на рисунке 2.



Условные обозначения:



Справа – глубина скважины, м
Слева – высотная отметка устья, м

Уровень грунтовых вод
В числителе – отметка уровня воды, м
В знаменателе – дата замера

	техногенный грунт		глинистый грунт полутвёрдой консистенции		генетический тип и геологический возраст отложений
	глина		глинистый грунт твёрдой консистенции		граница литологическая
	песок		пески водонасыщенные		граница уровня грунтовых вод
	супесь				номер инженерно-геологического элемента
	суглинок				

Рис. 2. Разрез основания фундаментов по длинной оси основного корпуса

В литологическом отношении основание состоит из следующих напластований:

- техногенный слой (песчаная подготовка, суглинок мягкопластичный) мощностью 0,5–0,6 м;
- суглинок мягкопластичный и текучепластичный (с прослоями песка) мощностью 3,5–4,0 м;
- глина тугопластичная (горизонтальнослойчатая) мощностью 3,0–2,6 м;
- песок мелкий (водонасыщенный) вскрытой мощностью 4,5–4,6 м.

Уточнение литологического строения выполнено методом подповерхностного радиолокационного зондирования [10; 13]. Для формирования непрерывного разреза среды в латеральной плоскости при исследовании применены антенные блоки АБ-90, АБ-250. Для регистрации отражённых сигналов применён блок обработки георадара ОКО-2. Камеральная обработка материалов проводилась с применением программного комплекса GEOSCAN-32. Примеры обработанных радарограмм по внешнему контуру и внутри здания показаны на рисунке 3.

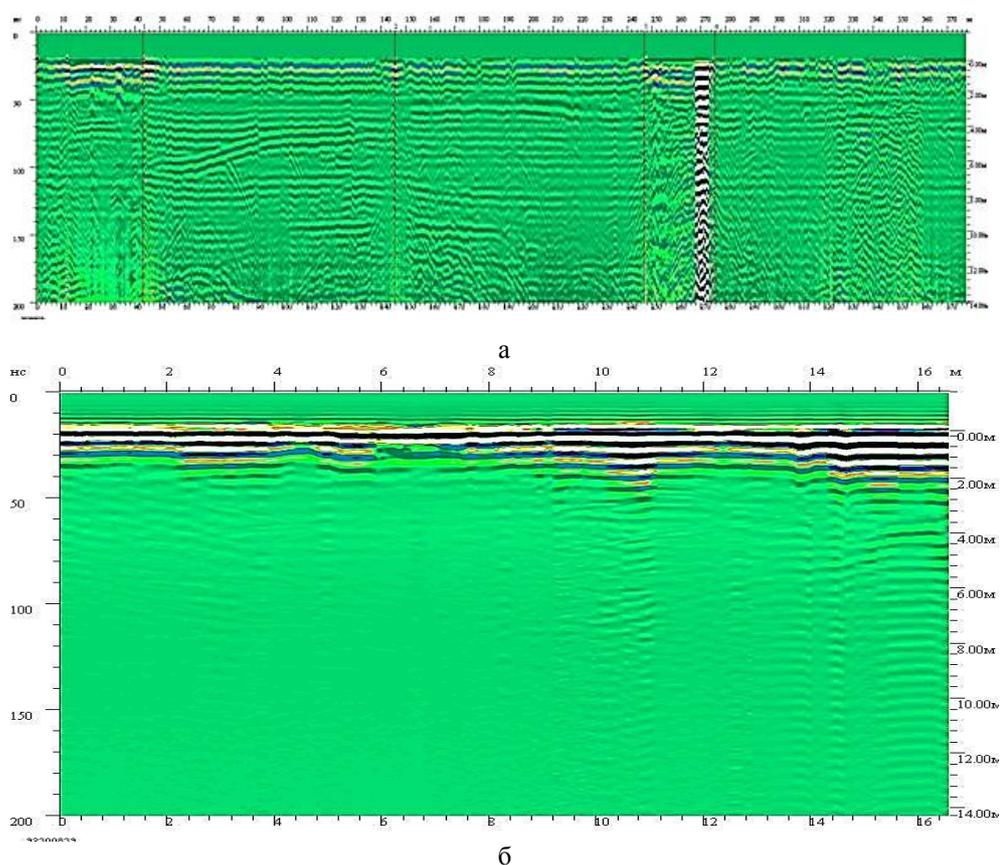


Рис. 3. Радарограммы: а – вдоль внешнего контура основного корпуса;
б – вдоль фундамента турбоагрегата внутри основного корпуса

Уровень грунтовых вод установлен на глубине 2,4 м. Режим подземных вод нарушен, зависит от подпора в весеннее половодье и инфильтрации утечек из коммуникаций. Присутствует техногенная верховодка. Изыскателями

прогнозируется формирование техногенного горизонта подземных вод на уровне подошвы существующего ростверка. Площадку согласно критериям подтопляемости следует отнести к типу П-Б₂ – потенциально подтопляемые в результате техногенных аварий и катастроф.

В данном случае воды техногенного происхождения обусловили не только повышение горизонта грунтовых вод, но и формирование полностью водонасыщенного массива. Ореол такого водоносного массива в основании промышленного объекта в процессе исследования грунтовых пород был установлен геофизическими методами [9; 17].

Согласно п. 5.2.8 СП 26.13330.2012 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками» (Актуализированная редакция СНиП 2.02.05-87), фундаменты машин с динамическими нагрузками следует проектировать рамными, представляющими собой пространственную конструкцию, состоящую, как правило, из верхней плиты или системы балок, опирающихся через стойки на нижнюю фундаментную плиту.

Фундамент турбоагрегата представляет собой рамную конструкцию, включающую плиту перекрытия, балки, колонны, ступенчатый ростверк и сваи. Согласно исполнительной документации конструкции фундамента возведены в соответствии с проектным решением.

Размеры ростверка в плане $25,77 \times 5,40$ м (в подтурбинной зоне). Вдоль длинной стороны по подошве ростверка простирается слой обводнённого грунта на расстояние до 7,5 м. Параметрами, влияющими на формирование динамических нагрузок, передающихся на фундамент, являются частота вращения до 50 Гц, масса вращающихся элементов до 62 т, кроме того турбоагрегат поднят над ростверком на железобетонных конструкциях. Схема пространственной рамы фундамента турбоагрегата показана на рисунке 4. Причинно-следственные связи между вибрациями и негативными последствиями достаточно изучены [11]. В результате многофакторного обследования конструкций, на которых установлен турбоагрегат, ранее специалистами ОАО «ВНИИГ им. Б.Г. Веденеева» были выявлены дефекты и повреждения, возникшие в процессе эксплуатации.

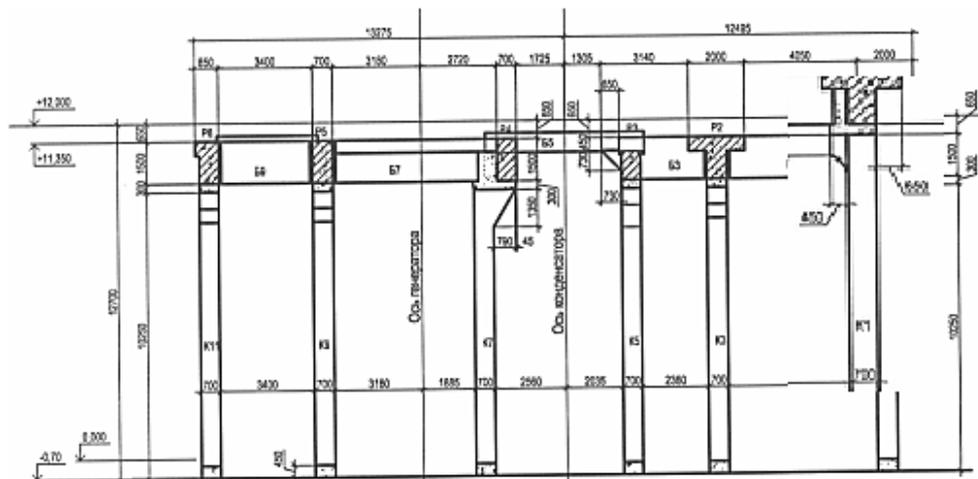


Рис. 4. Разрез рамы, для размещения турбоагрегата

Для принятия дальнейших обоснованных решений проведён геотехнический анализ происходящих процессов, подтвердивший, что специфической особенностью исследуемой системы является совокупность статических и динамических нагрузок. Причём последние изменяются во времени. В процессе проводимого мониторинга выявлены неустановившиеся процессы, осадки, основания, а также негативные отклики основания на низкочастотные вибровоздействия энергетического оборудования. Возникла опасность формирования особых нагрузок в соответствии с п. 5.6г СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» (Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*), которые не могли быть учтены при разработке проектных решений.

В процессе исследования установлено, что продолжающиеся деформации грунтового основания напрямую связаны с низкочастотной вибрацией. При данном виде вибрационного динамического воздействия возникает эффект «разжижения» грунта [6]. Следует отметить, что привычно данная терминология применяется в отношении песков, однако некоторые квазитиксотропные связные грунты проявляют при определённой интенсивности динамической нагрузки схожие структурные изменения [4; 5].

Основание фундамента турбоагрегата суммарной мощностью до 7,0 м сложено глинистыми грунтами, являющимися сложными минерально-дисперсными образованиями. В данном случае структурные свойства грунтов обусловлены водно-коллоидными коагуляционными связями. Известно, что водно-коллоидные связи формируются в результате электромолекулярного взаимодействия между коллоидными оболочками, плёнками воды, минеральными частицами [18]. Коагуляционные структуры имеют относительно небольшую прочность, обусловленную низкими значениями Вандерваальсовых сил [2].

Для рассматриваемых структур с изменением электрического потенциала и степени гидратации характерно проявление процессов пептизации и коагуляции [12]. Таким образом, коллоиды в грунте могут находиться как в виде геля, так и в виде золя.

Проведённый анализ показал, что в результате динамического воздействия в период эксплуатации турбоагрегата грунтовой массив, являясь слоистой коагуляционной структурой, ярко проявляет тиксотропию. Данный изотермический процесс реализуется при механическом воздействии на коллоидную систему, включающую неравномерно распределённые мицеллярные структуры [8]. Результатом такого процесса для гидрофильных коллоидов является переход геля в золь. Отличительной особенностью рассматриваемых систем можно назвать обратный переход из золя в гель при прекращении внешнего воздействия. Следует отметить, что восстановление структуры является полным и самопроизвольным.

Таким образом, массив, сформированный суглинками, глинами и мелкими песками, соответствует условиям тиксотропности грунта [1], а именно:

- содержит в порах свободную воду;
- присутствует необходимый объём коллоидных фракций;
- весовая влажность больше предела пластичности.

В штатных рабочих режимах передача грунтовому основанию низкочастотной вибрации при работе турбоагрегата через жёсткую стоечно-балочную конструкцию приводит к изменённому состоянию грунтовых пород в процессе геля – золя перехода. При длительном динамическом воздействии наблюдается существенное снижение сопротивления грунтов сдвигу [3]. Описанные

негативные эффекты обуславливают проблему дальнейшей эксплуатации промышленных объектов.

РД 34.21.306-96 «Методические указания по обследованию динамического состояния строительных конструкций сооружений и фундаментов оборудования энергопредприятий» содержат в гл. 7 перечень мероприятий по снижению уровня колебаний фундаментов и строительных конструкций. Согласно п. 7.2.1 указанного документа, увеличение жёсткости основания путём осушения (дренажа) или закрепления грунтов (эффективное средство снижения вибрации фундаментов машин с динамическими нагрузками). Однако водопонижение, т.е. удаление свободной воды из пористого грунта, в нашем случае неприемлемо в связи с очевидно прогнозируемым развитием неравномерных вертикальных деформаций.

Решение задачи было сведено к необходимости пресечь циклические процессы «золь – гель» перехода и обратно. Решение выявленной проблемы найдено в замещении гравитационной подземной воды посредством полимеризации основания [14]. Для повышения стабильности грунтовых структур, регулирования их реологических свойств и управления процессами структурообразования грунтовой среды предложено использовать раствор высокомолекулярного полимера. Оптимальным методом удаления обводненности и усиление пластичности грунтов в основании фундамента турбоагрегата авторами признано использование геополимерного компаунда [7]. В процессе своего инъецирования расширяющийся состав полимера через прослой мелкого песка призван выдавить гравитационную воду из основания в сопряжённые области. При этом поры одновременно заполняются полимером. За счёт армирования грунтового массива жёсткими телами затвердевшего геополимера и уплотнения самих грунтов под действием экспансивных сил происходит улучшение их физико-механических характеристик. В частности, повышается жёсткость основания фундамента в соответствии с требованиями РД 34.21.306-96. Высокая избирательность уплотняющего материала позволяет усиливать наиболее слабые зоны грунтового массива, обеспечивая тем самым формирование однородного основания с повышенной несущей способностью.

Список литературы

1. Аbruкова Л. П. Кинетика процессов тиксотропного структурообразования в почвенных суспензиях / Л. П. Аbruкова // Почвоведение. – 1970. – № 3. – С. 104–114.
2. Бараш Ю. С. Силы Ван-дер-Ваальса / Ю. С. Бараш. – Москва : Наука, 1988. – 344 с.
3. Бугров А. К. Механика грунтов / А. К. Бугров. – Санкт-Петербург : Политехн. ун-т, 2007. – 287 с.
4. Вознесенский Е. А. Разжижение грунтов при циклических нагрузках / Е. А. Вознесенский, В. Г. Коваленко, Е. С. Кушнарёва, В. В. Фуникова. – Москва : МГУ, 2005. – 134 с.
5. Вознесенский Е. А. Сейсмическая разжижаемость грунтов: инженерная оценка и классифицирование / Е. А. Вознесенский, Е. С. Кушнарёва // Инженерная геология. – 2012. – № 4. – С. 11–23.
6. Иванов П. Л. Разжижение и уплотнение несвязных грунтов при динамических воздействиях / П. Л. Иванов. – Ленинград : ЛПИ им. М. И. Калинина, 1978. – 52 с.
7. Игошева Л. А. Обзор основных методов укрепления грунтов основания / Л. А. Игошева, А. С. Гришина // Вестник Пермского национального

исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 2. – С. 5–21.

8. Осипов В. И. Микроструктура глинистых пород / В. И. Осипов, В. Н. Соколов, Н. А. Румянцева. – Москва : Недра, 1989. – 211 с.

9. Полумордвинов О. А. Практическое применение метода георадиолокации при выполнении инженерных изысканий / О. А. Полумордвинов, И. М. Шереметов // Наука в современном мире. – Москва : Спутник+, 2011. – С. 101–104.

10. Полумордвинов О. А. К вопросу о создании комплексной методики инженерных изысканий для решения геотехнических и геоэкологических задач строительства на урбанизированных территориях / О. А. Полумордвинов, И. М. Шереметов, А. Ю. Курдюк // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – № 1. – С. 56–57.

11. Рунов Б. Т. Исследование и устранение вибраций паровых турбоагрегатов / Б. Т. Рунов. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 352 с.

12. Середин В. В. Изучение закономерностей коагуляции глинистых частиц / В. В., Середин, В. И. Каченов, О. С. Ситева, Д. Н. Паглазова // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–14. – С. 3189–3193.

13. Тарасенко С. Е. Применение геофизических методов при выполнении инженерных изысканий на площадках массового строительства / С. Е. Тарасенко, И. М. Шереметов // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 3. – С. 61–65.

14. Физико-химическая механика природных дисперсных систем / под ред. Е. Д. Щукина, Н. В. Перцова, В. И. Осипова, Р. И. Злочевской. – Москва : МГУ, 1985. – 266 с.

15. Шереметов И. М. Геоэкологический мониторинг астраханского хинтерланда / И. М. Шереметов // Актуальные проблемы защиты окружающей среды и техносферной безопасности в меняющихся антропогенных условиях «Белые ночи – 2014». – Грозный, 2014. – С. 427–430.

16. Шереметов И. М. Геоэкологический аспект изменения назначения земель астраханского хинтерланда / И. М. Шереметов, С. М. Немошкалов, Д. П. Ануфриев, А. Э. Усынина // Перспективы развития строительного комплекса / под общ. ред. В. А. Гутмана, Д. П. Ануфриева. – Астрахань : АГАСУ, 2017. – С. 84–89.

17. Шереметов И. М. Опыт применения геофизических методов при выполнении инженерно-экологических изысканий / И. М. Шереметов // Научный потенциал регионов на службу модернизации / под общ. ред. В. А. Гутмана, А. Л. Хаченяна. – Астрахань : АИСИ, 2012. – № 1 (2). – С. 46–55.

18. Щукин Е. Д. Коллоидная химия / Е. Д. Щукин, А. В. Перцев, Е. А. Амелина. – Москва : МГУ, 1982. – 352 с.

References

1. Abrukova L. P. Kinetika protsessov tiksotropnogo strukturoobrazovaniya v pochvennykh suspenziyakh [Kinetics of the processes of thixotropic structure formation in soil suspensions]. *Pochvovedenie* [Soil Science], 1970, no. 3, pp. 104–114.

2. Barash Yu. S. *Sily Van-der-Vaalsa* [Van der Waals forces], Moscow, Nauka Publ., 1988, 344 p.

3. Bugrov A. A. *Mekhanika gruntov* [Soil mechanics], St. Petersburg, Polytechnic University Publ. House, 2007, 287 p.

4. Voznesenskiy Ye. A., Kovalenko V. G., Kushnareva Ye. S., Funikova V. V. *Razzhizhenie gruntov pri tsiklicheskih nagruzkakh* [Dilution of soil at cyclic loads], Moscow, Moscow State University Publ. House, 2005, 134 p.

5. Voznesenskiy Ye. A., Kushnareva Ye. S. Seysmicheskaya razzhizhaemost gruntov: inzhenernaya otsenka i klassifitsirovanie [Seismic dilution of soils: engineering assessment and classification]. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering Geology], 2012, no. 4, pp. 11–23.

6. Ivanov P. L. *Razzhizhenie i uplotnenie nesvyaznykh gruntov pri dinamicheskikh vozdeystviyakh* [Dilution and compaction of non-cohesive soils under dynamic effects], Leningrad, LPI named after M.I. Kalinina Publ. House, 1978, 52 p.

7. Igosheva L. A., Grishina A. S. *Obzor osnovnykh metodov ukrepleniya gruntov osnovaniya* [Overview of the basic methods of soil foundation strengthening]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture], 2016, vol. 7, no. 2, pp. 5–21.

8. Osipov V. I., Sokolov V. N., Rummyantseva N. A. *Mikrostruktura glinistykh porod* [The microstructure of clay rocks], Moscow, Nedra Publ., 1989, 211 p.

9. Polumordvinov O. A., Sheremetov I. M. *Prakticheskoe primeneniye metoda georadiolokatsii pri vypolnenii inzhenernykh izyskaniy* [Practical application of GPR in the performance of engineering surveys]. *Nauka v sovremennom mire* [Science in the Modern World], Moscow, Sputnik + Publ., 2011, pp. 101–104.

10. Polumordvinov O. A., Sheremetov I. M., Kurdyuk A. Yu. *K voprosu o sozdanii kompleksnoy metodiki inzhenernykh izyskaniy dlya resheniya geotekhnicheskikh i geoekologicheskikh zadach stroitelstva na urbanizirovannykh territoriyakh* [On the issue of creating an integrated engineering survey methodology for solving geotechnical and geocological construction tasks in urbanized areas]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Industrial and Civil Construction], 2009, no. 1, pp. 56–57.

11. Runov B. T. *Issledovanie i ustraneniye vibratsiy parovykh turboagregatov* [Research and elimination of vibrations of steam turbine units], Moscow, Energoizdat Publ., 1982, 352 p.

12. Seredin V. V., Kachenov V. I., Siteva O. S., Paglazova D. N. *Izuchenie zakonmernostey koagulyatsii glinistykh chastits* [Study of the coagulation patterns of clay particles]. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental Researches], 2013, no. 10–14, pp. 3189–3193.

13. Tarasenko S. Ye., Sheremetov I. M. *Primeneniye geofizicheskikh metodov pri vypolnenii inzhenernykh izyskaniy na ploshchadkakh massovogo stroitelstva* [The use of geophysical methods in the performance of engineering surveys on mass construction sites]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Industrial and Civil Engineering], 2015, no. 3, pp. 61–65.

14. Shchukina Ye. D., Pertsova N. V., Osipova V. I., Zlochevskaya R. I. (ed.). *Fiziko-khimicheskaya mekhanika prirodnykh dispersnykh sistem* [Physicochemical Mechanics of Natural Disperse Systems], Moscow, Moscow State University Publ. House, 1985. 266 p.

15. Sheremetov I. M. *Geoekologicheskiy monitoring astrakhanskogo khinterlanda* [Geocological monitoring of the Astrakhan hinterland]. *Aktualnye problemy zashchity okruzhayushchey sredy i tekhnosfernoy bezopasnosti v menyayushchikhsya antropogennykh usloviyakh "Belye nochi – 2014"* [Actual Problems of Environmental Protection and Technospheric Safety in Changing "White Nights – 2014"], Grozny, 2014, pp. 427–430.

16. Sheremetov I. M., Nemoshkalov S. M., Anufriev D. P., Usynina A. E. *Geoekologicheskiy aspekt izmeneniya naznacheniya zemel astrakhanskogo khinterlanda* [Geocological aspect of changing the designation of lands of the Astrakhan hinterland]. *Perspektivy razvitiya stroitelnogo kompleksa* [Perspectives on the Development of the Building Complex]. Astrakhan, AGASU Publ., 2017, pp. 84–89.

17. Sheremetov I. M. *Opyt primeneniya geofizicheskikh metodov pri vypolnenii inzhenerno-ekologicheskikh izyskaniy* [Experience in the use of geophysical methods in the performance of engineering and environmental studies]. *Nauchnyy potentsial regionov na sluzhbu modernizatsii: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Scientific Potential of the Regions for the Service of Modernization. Proceedings], Astrakhan, AISI Publ., 2012, no. 1 (2), pp. 46–55.

18. Shchukin Ye. D., Pertsev A. V., Amelina Ye. A. *Kolloidnaya khimiya* [Colloid Chemistry], Moscow, Moscow State University Publ. House, 1982, 352 p.