



УДК 628.112.2

ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ ОБРАЗЦОВ ЗАКОЛЬМАТИРОВАННЫХ ЗОН НИЗКОДЕБИТНЫХ СКВАЖИН

DEFORMABILITY OF SAMPLES OF THE ZKALMATYRATED ZONES OF LOW-CONDITABLE WELLS

Цымбалов Александр Алексеевич
кандидат технических наук,
генеральный директор,
ООО Группа компаний «Архимед»
arhimed64@mail.ru

Tsymbalov Alexander Alekseevich
Candidate of Technical Sciences,
General Director,
LLC Group of companies «Archimedes»
arhimed64@mail.ru

Аннотация. В работе описаны этапы деформирования закольматированных зон водонасыщенного грунта для скважин на воду, которые подтверждены лабораторными исследованиями образцов кольматанта и полевыми испытаниями инженерного оборудования в полевых условиях Саратовской области методами МРС-СИЦА. Получены численные значения физико-механических свойств кольматанта: предел прочности на разрыв – $\sigma_p = 3,51$ МПа, предел прочности на сжатие – $\sigma_{сж} = 11,40$ МПа. Сделан вывод о том, что прочностные исследования образцов структуры твердого кольматанта дают основания выработать методику ведения ремонтно-восстановительных работ на низкодебитных закольматированных скважинах на воду методами МРС-СИЦА. Работа выполнена в рамках Программы НИР ООО «Архимед» Арh. № ТЭР-Р 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водопропускных устройств: п.п. «а»–«е»; разд. 1, разд. 2».

Annotation. The paper describes the stages of deformation of zakolmatized zones of water-saturated soil for water wells, which are confirmed by laboratory studies of colmatant samples and field tests of engineering equipment in the field conditions of the Saratov region using the MRS-SICA methods. Numerical values of the physico-mechanical properties of the colmatate are obtained: tensile strength – $\sigma_p = 3,51$ MPa, compressive strength – $\sigma_{сж} = 11,40$ MPa. The conclusion is made that strength studies of samples of the structure of the solid colmatant give grounds to develop a technique for repair and recovery operations on low-rate water wells for water using the MRS-SICA methods. The work was carried out within the framework of the Research Program of LLC «Archimedes» Arh. № TER-R 642012-0001.000 «Investigation of the processes of colmatization of the well-well environment and the development of methods for decolmatizing water-penetration devices: p.p. «а»–«е»; Section 1, Section 2».

Ключевые слова: водозаборная скважина, кольматант, декольматация, грунт, среда, акустическая волна, методы МРС-СИЦА, деформация, теория катастроф, точка бифуркации.

Keywords: washing ability, spacer fluid, a surfactant, mixing, well casing, cementing.

Результаты разработанных методов ведения ремонтно-восстановительных работ (РВР) полученные в ООО «Архимед» согласуются с выполненными исследованиями по теории прочностных разрушений грунтов и теории лавинно-неустойчивого трещинообразования от акустических волн водонасыщенных грунтов [4, 5, 12, 14].

Целью работы является описание поэтапного физического процесса напряженно-деформационного состояния, возникающего от воздействующих нагрузок (методы МРС-СИЦА), приводящих к разрушению твердого кольматанта. Объектом исследования являлась околоскважинная зона закольматированных скважин, полностью или частично утратившая эксплуатационный дебит. Предметом исследования являлись образцы твердого кольматационного осадка из околоскважинной зоны (рис. 1).



Рисунок 1 – Рабочий фрагмент образцов твердого кольматанта выделенных из структуры околоскважинной зоны после испытаний на изгиб



Процесс деформирования образцов твердого кольматанта околоскважинных зон проводился по методике [3] в лабораторных условиях. При деформировании закольматированных водонасыщенных грунтов наблюдались следующие стадии.

Следует отметить, что деформации твердого кольматанта при импульсных нагрузках рекомендуемые методами МРС-СИЦА ООО «Архимед» имеют небольшие скорости распространения деформации по глубине околоскважинной зоны. Сопrotивляемость кольматанта деформированию зависит от пористости, трещиноватости грунтов, которые влияют на прочность, упругость, коэффициент Пуассона. Пористость зависит от состава закольматированного водонасыщенного грунта, размера, формы и упаковки зерен твердой структуры кольматанта.

На первой стадии (участок кривой OA – рис. 2) от усилия P_1 происходит упрочнение порового пространства и дефектов образца кольматанта. Вторая стадия характеризуется (участок кривой AB) воздействием нагрузки P_2 . Это способствует нарастанию деформации и вызывает упругое деформирование структуры кольматанта, характеризуемое пределом его упругости (предел текучести). На участке кривой AB (рис. 2) образцы кольматанта проходят стадию упрочнения.

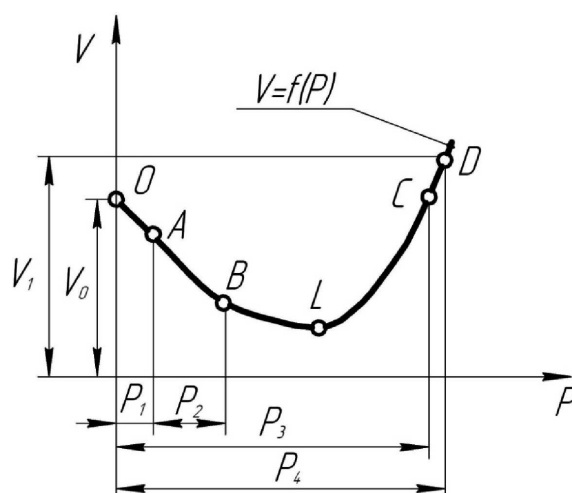


Рисунок 2 – Зависимость деформации твердого кольматанта от усилия воздействия с характеристическими точками при испытании образца на сжатие:
 P_1, \dots, P_4 – величина прикладываемой нагрузки;
 V_0 – начальный объем образца перед испытаниями на прочность;
 V_1 – объем образца после испытания на прочность

Третья стадия (участок кривой BC) находится под воздействием нагрузки P_2 . На этой стадии наблюдается образование различных трещин и микротрещин. Глубина проникновения трещин через кольматационный слой пропорциональна циклам нагружения.

На участке BC точка L называется точкой бифуркации. Согласно математической теории катастроф [1] точка бифуркации отражает состояние твердого кольматанта в процессе его деформации от волнового воздействия и соответствует двум вариантам развития событий: а) переходом в новое состояние равновесия без разрушения; б) переходом в состояние потери прочностной устойчивости твердого кольматанта (т. D , характеризующая разрушение образца кольматанта – рис. 2) [7, 10].

Участок кривой BL (рис. 2) отражает деформирование образца и характеризует окончание стадии упрочнения. Здесь наблюдается рост количества трещин и микротрещин (новых и старых), а также объединение трещин в число более крупных трещин, что и производит разрыв структуры элементов образца твердого кольматанта. При разрушении отдельных слоев по сформированным дефектам кольматанта структура объема образца начинает увеличиваться. На третьей стадии деформирования кольматанта заканчивается этап № 1 ведения РВР закольматированных скважин методом МРС-СИЦА. Повтор таких циклов нагружения зависит от прочности кольматанта.

Четвертая стадия (участок кривой CD) формируется от усилия P_2 . Нагрузка приводит к увеличению трещин, слиянию (переход состояния трещин к активному переходу на следующую стадию) в магистральные, что приводит к разрушению материала. На участке кривой CD (рис. 2) образец увеличивается в объеме из-за интенсивного трещинообразования и разрыхления структуры грунта на мелкие составляющие элементы. Эта стадия соответствует этапу № 2 или этапу № 3 ведения РВР закольматированных скважин методом МРС-СИЦА.

Описание деградации твердого кольматанта выполнены на основе деформирования образцов. Результаты исследований образцов кольматанта применены при восстановлении низкодебитных закольматированных скважин на воду методом МРС-СИЦА.



Обработанные скважины (2007–2018 гг.) на территории Саратовской области методами МРС-СИЦА (технология ВИГДОС-СИЦА™) имели положительную динамику. Опыт ведения РВР методом, разработанным ООО «Архимед» [6, 8, 9] для водозаборных скважинах глубиной 25–80 м (выборка из 70-ти скважин), подтверждает правильность разработанных теоретических рассуждений по деформированию закольматированных околоскважинных зон. Исследуемые образцы твердого кольматанта получены автором на альбских отложениях Приволжско-Хоперского артезианского бассейна (Саратовской область, 2012 г.). В лабораториях МГУ, РГУ нефти и газа, ОАО «СНПЦ «РОСДОРТЕХ», ВСЕГИНГЕО, СГТУ проведены испытания кольматанта на прочностные, морфологические и петрофизические характеристики минералогического состава. Данные исследования позволили:

а) получить численные значения физико-механических свойств кольматанта: предел прочности на разрыв – $\sigma_R = 3,51$ МПа, предел прочности на сжатие – $\sigma_{СЖ} = 11,40$ МПа [6, 11, 13];

б) внести уточнения в определение граничных условий процесса кольматации в околоскважинной зоне;

в) подтвердить гипотезу Л.С. Бурштейна [2];

г) разработать теорию декольматации закольматированных сред.

Полученные данные исследования твердого кольматанта также учитывались при расчете прочностных нагрузок на околоскважинную зону от внешних импульсных волновых воздействий, влияющих на следующие процессы и параметры:

а) разрушение кольматанта;

б) улучшение работоспособности скважины и водозаборного устройства;

в) повышение производительности скважины;

г) увеличение эксплуатационного жизненного цикла скважины.

Предложенные этапы деформирования закольматированных зон водонасыщенного грунта скважин на воду подтверждены лабораторными исследованиями образцов кольматанта и полевыми испытаниями инженерного оборудования в производственных условиях на объектах Саратовской области.

Вывод

Прочностные исследования образцов структуры твердого кольматанта позволили выработать методику ведения РВР на низкодебитных закольматированных скважинах на воду методами МРС-СИЦА.

Работа выполнена в рамках Программы НИР «Архимед» Arh. № ТЭР-Р 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водопропускных устройств: п.п. «а»–«е»; разд. 1, разд. 2».

Литература:

1. Арнольд В.И. Теория катастроф. – М.: Наука, 1990. – 128 с.
2. Бурштейн Л.С. Статические и динамические испытания горных пород. – Л.: Недра, 1970. – 176 с.
3. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости: ГОСТ 12248–2010. Грунты. – М.: Стандартинформ, 2012. – 82 с.
4. Мячкин В.И. Процессы подготовки землетрясений. – М.: Наука, 1978. – 232 с.
5. Украинский Л.Е. Экспериментальное исследование влияния волновой обработки на фильтрационные процессы в пористой среде, насыщенной жидкостью / Л.Е. Украинский, И.Г. Гусев, Н.В. Гун / Колебания и волны в механических системах: сб. науч. тр. ин-та машиновед. им. А.А. Благоднарова; под ред. Р.Ф. Ганиева по матер. междунауч. конф. (г. Москва, 27–29 ноября 2012 г.). – М.: Изд-во «Институт компьютерных исследований», 2012. – С. 45–46.
6. Цымбалов А.А. Межремонтный период регенерации водозаборных скважин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2017. – № 10. – С. 20–25.
7. Цымбалов А.А. Методические подходы в решении прогностических задач по декольматации околоскважинных зон на основе математического моделирования / Приложение математики в экономических и технических исследованиях: сб. науч. тр. Магнитогорск. гос. техн. ун-та. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2017. – Т. 1. – № 7. – С. 204–210.
8. Цымбалов А.А. Метод наилучших доступных технологий в регенерации закольматированных водозаборных скважин: Сергеевские чтения: Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых / материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (г. Москва, 4–5 апреля 2017 г.). – М.: РУДН, 2017. – Вып. 19. – С. 434–439.
9. Цымбалов А.А. Предпосылки к разработке метода ремонтно-восстановительных работ скважинных водозаборов в условиях биохимической кольматации: Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии / под ред. В.В. Лунина, В.Г. Самойловича, С.Н. Ткаченко [и др.]: сб. науч. тр. химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова по материалам 34-ой всероссийской конференции с международным участием (г. Москва, 29–30 июня 2016 г.). – М.: Макспресс, 2016. – С. 272–279.
10. Цымбалов А.А. Объяснение физических явлений и процессов декольматации околоскважинной зоны с применением математического моделирования: Приложение математики в экономических и технических исследованиях // сб. науч. тр. Магнитогорск. гос. техн. ун-та. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2017. – Т. 1. – № 7. – С. 199–204.



11. Цымбалов А.А. О прочностных особенностях кольматанта водозаборных скважин и деструктивных методах воздействия : Водоснабжение, водоотведение, экологическая безопасность строительства и городского хозяйства / сб. науч. тр. НПО ВОДГЕО. – М: Изд-во ДАР/ВОДГЕО, 2015. – Вып. 17. – С. 110–112.

12. Цымбалов А.А. Роль сейсмогидрогеологических эффектов в решении проблем декольматации околоскважинных зон: предразрушение и разрушение : Актуальные проблемы современной сейсмологии / сб. науч. тр. Академии наук РУз, Ин-т сейсм. АН РУз по материалам международной конференции, посвященной 50-летию Института сейсмологии АН РУз (г. Ташкент, 14–16 октября 2016 г.). – Ташкент : ООО «Mukridin Press», 2016. – Ч. 1. – С. 117–118.

13. Цымбалов А.А. Формирование кольматационных процессов водозаборных скважин по результатам региональной практики и наблюдений : Новые идеи в науках о Земле / сб. науч. тр. Рос. гос. геологоразвед. ун-та по материалам XIII межд. науч. – прак. конф. (г. Москва, 5–7 апреля, 2017 г.) в 2 т. / ред. коллегия: В.И. Лисов, В.А. Косьянов, О.С. Брюховецкий. – М. : МГРИ-РГГРУ, 2017. – Т. 1. – С. 492–493.

14. Tsymbalov A.A. Role of seismohydrogeologic effects in solution of problems on borehole area dekolmatation: Predestruction and destruction // Seismological Conference (TASECO-2016). – Tashkent : Muxammad poligraf, 2016. – Part I. – P. 599–606.

References:

1. Arnold V.I. Theory of accidents. – M. : Science, 1990. – 128 p.
2. Burstein L.S. Static and dynamic tests of rocks. – L. : Nedra, 1970. – 176 p.
3. Methods of laboratory definition of characteristics of durability and deformability : GOST 12248-2010. Soil. – M. : Standartinform, 2012. – 82 p.
4. Myachkin V.I. Processes of preparation of earthquakes. – M. : Science, 1978. – 232 p.
5. Ukrainian L.E. Pilot study of influence of wave processing on filtrational processes in the porous environment saturated with liquid / L.E. Ukrainsky, I.G. Gusev, N.V. Gong / fluctuations and waves in mechanical systems : collection of scientific works in-that engineering scientist. of A.A. Blagonravov; under the editorship of R.F. Ganiyev on a mater. international scientifically technical conference (Moscow, on November 27–29, 2012). – M. : Institute of Computer Researches publishing house, 2012. – P. 45–46.
6. Tsymbalov A.A. Between-repairs period of regeneration of water wells // Water supply and sanitary equipment. – 2017. – No. 10. – P. 20–25.
7. Tsymbalov A.A. Methodical approaches in the solution of predictive tasks of a dekolmatation near - borehole zones on the basis of mathematical modeling / the Application of mathematics in economic and technical researches: collection of scientific works Magnitogorsk. state. technical un-that. – Magnitogorsk : Magnitogorsk publishing house. state. technical un-that, 2017. – Т. 1. – No. 7. – P. 204–210.
8. Tsymbalov A.A. A method of the best available technologies in regeneration of zakolmatirovanny water wells : Sergeevsky readings: Geoecological safety of development mineral deposits / materials of a year session of Scientific council of RAS on problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology (Moscow, on April 4–5, 2017). – M. : RUDN, 2017. – Issue 19. – P. 434–439.
9. Tsymbalov A.A. Prerequisites to development of a method of rescue and recovery operations of borehole water intakes in the conditions of a biochemical kolmatation : Ozone and other environmentally friendly oxidizers. Science and technologies / under the editorship of V.V. Lunin, V.G. Samoylovich, S.N. Tkachenko [etc.]: collection of scientific works chemical faculty of Lomonosov Moscow State University on materials of the 34th All-Russian conference with the international participation (Moscow, on June 29–30, 2016). – M. : Macspress, 2016. – P. 272–279.
10. Tsymbalov A.A. An explanation of the physical phenomena and processes of a dekolmatation of an okoloskvazhinny zone with application of mathematical modeling : The application of mathematics in economic and technical researches // collection of scientific works Magnitogorsk. state. technical un-that. – Magnitogorsk : Magnitogorsk publishing house. state. technical un-that, 2017. – Т. 1. – No. 7. – P. 199–204.
11. Tsymbalov A.A. About strength features of the kolmatant of water wells and destructive methods of influence : Water supply, water disposal, ecological safety of construction and municipal economy / collection of scientific works NPO VODGEO. – M. : DAR/VODGEO publishing house, 2015. – Issue 17. – P. 110–112.
12. Tsymbalov A.A. A role of seismohydrogeological effects in the solution of problems of a dekolmatation near - borehole zones : predestruction and destruction : Current problems of modern seismology / collection of scientific works Academies of Sciences of RUZ, Institute of Seismology RUZ AN on materials of the international conference devoted to the 50 anniversary of Institute of seismology AN of RUZ (Tashkent, on October 14–16, 2016). – Tashkent : ООО «Mukridin Press», 2016. – P.1. – P. 117–118.
13. Tsymbalov A.A. Formation of kolmatatsionny processes of water wells by results of regional practice and observations : The new ideas in sciences about Earth / collection of scientific works Sat. sci. tr. Ros.Gos. geological prospecting. University materials XIII international scientifically technical conference (Moscow, on April 5–7, 2017) in 2 t. / edition board: V.I. Lisov, V.A. Kosyanov, O.S. Bryukhovetsky. – M. : MGRI-RGGRU, 2017. – Т. 1. – P. 492–493.
14. Tsymbalov A.A. Role of seismohydrogeologic effects in solution of problems on borehole area dekolmatation : Predestruction and destruction // Seismological Conference (TASECO-2016). – Tashkent : Muxammad poligraf, 2016. – Part I. – P. 599–606.