



9th7k65731080.

14. Khazov P. A., Tyagunova L. Yu., Gordeevtseva A. M., Deulina N. M. Raspredelenie preobladayuschikh chastot i analiz raschyotnykh zemletryaseniy v seysmicheski opasnykh regionakh Rossii [Distribution of prevailing frequencies and analysis of calculated earthquakes in seismic regions of Russia]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2022. – № 1. – P. 72–81.*

15. Nizomov D. N., Kalandarbekov I., Khodzhiboev A. A. Spektralny analiz seysmicheskikh kolebaniy [Spectral analysis of seismic vibrations] // DAN RT. 2015. № 11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spektralnyy-analiz-seysmicheskikh-kolebaniy>.

© Л. Ю. Тягунова, И. В. Шкода, К. И. Аниськина, 2022

Получено: 20.06.2022 г.

УДК 551.435.8

М. М. УТКИН, канд. техн. наук, ведущий инженер карстологических исследований; М. В. УТКИН, лаборант

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ СУЛЬФАТНЫХ ПОРОД В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

АО «Гео Палитра»

Россия, 603000, г. Н. Новгород, ул. Костина, д. 3, пом. П53. Тел.: +7 (920) 252-22-69;
эл. почта: geokarst@mail.ru, mike531900@gmail.com

Ключевые слова: карст, растворение пород, скорость растворения карстующихся пород, скорость роста карстовой полости.

Выполнен сравнительный анализ имеющихся методик определения скорости растворения сульфатных пород в лабораторных условиях и сделаны выводы.

Данная статья является продолжением исследований авторов по данной тематике, приведенных в статье Приволжского научного журнала № 2 за 2022 г., в которой рассмотрен практический опыт определения скорости растворения карстующихся пород.

В соответствии с требованиями СП [1–4] при проведении инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях необходимо выполнять количественную оценку скорости растворения карстующихся пород, которая впоследствии используется для определения размеров карстовой полости к окончанию расчетного срока службы здания или сооружения [4]. Исходя из размеров полости, аналитическими и/или численными методами осуществляется прогнозирование размеров карстовых деформаций в основании сооружения, а при необходимости на дневной поверхности.

В действующих государственных стандартах (ГОСТ) и нормативных документах (СП) отсутствуют методики определения скорости растворения карстующихся пород, что создает различные трудности при ее оценке.

Перед тем как приступить к анализу имеющихся методик, отметим один важный момент. В 1949 г. Николай Васильевич Родионов предложил вопрос о скорости развития карста (растворения карстующихся пород) разделять на две части (задачи) [5], а именно растворение рассматривать как часть общего процесса де-



нудации и как скорость роста отдельных карстовых полостей. Исходя из решаемой задачи, должно осуществляться планирование, проведение и камеральная обработка экспериментальных исследований. В инженерном карстведении (не затрагивая некоторые специфические виды строительства, например, гидротехническое) наибольший интерес представляет вторая задача [2, 4, 6].

Начиная с 40-х гг. прошлого века и по настоящее время, скорость растворения карстующихся пород в подавляющем большинстве случаев определяется по результатам выщелачивания их призм [7–9]. Также она может оцениваться по результатам расширения отверстий в породах [10]. Суть экспериментальных испытаний заключается в обтекании (с заданной скоростью) растворителем (с принятой минерализацией) призм пород или в прохождении растворителя через отверстие в породах. Такие испытания, по мнению авторов статьи, позволяют выполнить общую количественную оценку скорости растворения карстующихся пород, т. е. они в основном направлены на решение первой задачи.

В первую очередь с целью решения второй задачи (определения скорости роста отдельных карстовых полостей и трещин), применительно для сульфатных пород, являющихся диффузионно растворимыми, канд. техн. наук, проф. В. В. Толмачевым в 1965 г. разработана методика [5], которая в 1984 г. была включена в Рекомендации ПНИИИС [6]. Главное ее отличие от вышеуказанных методик заключается в том, что планирование, проведение и камеральная обработка результатов экспериментальных испытаний осуществляются с учетом критериев подобия. Пролет карстовой полости, оцененный в ходе изысканий, в модели обычно принимается равным от 1 до 7 мм, вследствие чего значительно увеличивается скорость движения растворителя (более чем на несколько порядков) и сокращается время проведения опытов. После их завершения выполняется переход от модельных параметров к натурным.

Теперь перейдем к сравнительному анализу методик определения скорости растворения карстующихся пород.

Объект исследований – площадка размещения очистных сооружений канализации г. Арзамаса Нижегородской области, находящаяся севернее р. п. Выездное. По результатам специальных инженерно-геологических изысканий она была отнесена к III категории карстовой опасности [1] и к опасной категории в карстово-суффозионном отношении [2].

Как отмечалось в статье [10], скорость растворения карстующихся пород зависит от четырех основных факторов: 1) химического состава пород, 2) состояния пород, 3) химического состава подземных вод, 4) скорости движения подземных вод. Поэтому при проведении на объекте инженерно-геологических изысканий из глубокой скважины, предназначенной для оценки карстовой опасности, сначала был отобран kern сульфатных пород. Затем в ней выполнены полевые опытно-фильтрационные работы (одиночная откачка), после завершения которых произведен забор подземных вод, приуроченных к карстующимся породам.

Лабораторные испытания в количестве 8 опытов проводились на экспериментальной установке, изготовленной авторами настоящей статьи и показанной в их предыдущей работе [10]. Первая методика изложена в публикации [10], вторая методика – в Рекомендациях ПНИИИС [6]. По каждой из них было выполнено 4 опыта.

Испытуемые образцы сульфатных пород подготавливались из керна скважины (рисунок). При этом из одного монолита высотой 20–30 см изготавливались 2 практически одинаковых образца. Первый испытывался в трещинно-карстовой

(высокоминерализованной) воде, второй – в водопроводной (пресной). Такой подход к планированию экспериментов позволил более объективно выполнить сравнительный анализ получаемых результатов. Скорость движения подземных вод и, следовательно, растворителя составила 15,5 м/сут.

При проходке на объекте глубоких скважин полостей в карстующихся породах не было вскрыто. Поэтому пролет полости, используемый во второй методике, принят равным 1,5 м [4]. Исходя из этого, число Рейнольдса R_e составило 266,4.

Лабораторные экспериментальные исследования заключались в объемном растворении стенок отверстия в испытуемых образцах в закрытой системе при постоянном режиме фильтрации и ламинарном движении растворителя.

В процессе проведения экспериментов контролировался расход растворителя, прошедшего через каждый испытуемый образец. Кроме того, на стандартный химический анализ отбирались пробы растворителя перед и после прохождения образцов. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Исходя из результатов химических анализов растворителя (см. табл. 1), отметим два основных момента:

1. После протекания растворителя через испытуемые образцы в растворителе, как правило, сильно увеличивается содержание иона $\text{Na}+\text{K}$, а также возрастает SO_4 . Предполагается, что указанные ионы, взаимодействуя между собой, образуют сульфаты натрия (Na_2SO_4) и/или калия (K_2SO_4), являющиеся легко растворимыми солями. Поэтому диаметр отверстий в образцах после окончания экспериментов в первую очередь определялся прямыми измерениями штангенциркулем, а также для контроля – расчетом через объем воды, заполняющей отверстия. Расчетом через потерю массы сухих образцов могут оцениваться размеры ослабленных зон, прилегающих к отверстиям (полостям).



Рис. 1. Общий вид керна (слева) и испытуемого образца (справа) гипсовой породы: а – № 5.2; б – № 6.2



Таблица 1

Результаты стандартных химических анализов растворителя

Но- мер про- бы	Место отбора пробы растворителя	Анионы, мг/л				Катионы, мг/л			Мине- ра- лиза- ция М, г/л
		HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	Ca	Mg	Na+K	
Растворитель – трещинно-карстовая (высокоминерализованная) вода									
190	1. Перед прохожде- нием образцов	356,97	79,76	990	12,71	448,90	77,76	1,38	1,969
196	2. После прохождения образца № 6.1 Гипс доломитизированный 09.11.2021 г. 14:30	292,90	99,26	980	15,92	452,90	34,02	65,32	1,943
197	09.11.2021 г. 23:30	289,95	92,17	1640	13,52	444,89	36,45	378,12	2,898
198	10.11.2021 г. 11:30	332,56	79,76	1340	13,68	456,91	24,30	250,24	2,502
202	3. После прохождения образца № 7.1 – Гипс доломитизированный 09.11.2021 г. 14:30	347,80	81,54	1300	14,15	438,88	40,10	231,38	2,457
203	09.11.2021 г. 23:30	350,87	80,65	1360	13,26	460,92	36,45	241,04	2,547
204	10.11.2021 г. 11:30	355,90	81,54	1100	13,92	442,88	44,96	122,13	2,166
Растворитель – водопроводная (пресная) вода									
189	4. Перед прохожде- нием образцов	79,33	14,18	64	3,15	40,08	10,21	4,83	0,216
210	*5 После прохождения образца № 4.2 – Гипс доломитизированный	109,84	12,41	530	2,29	220,44	20,90	10,58	1,006
211	*6. После прохожде- ния образца № 5.2 – Гипс доломити- зированный	97,63	15,95	787	2,06	234,87	69,01	23,46	1,231
199	7. После прохождения образца № 6.2 – Гипс доломитизированный 09.11.2021 г. 14:30	67,12	14,18	76	2,75	41,08	12,15	0,92	0,215
200	09.11.2021 г. 23:30	67,12	13,29	86	2,98	37,68	7,29	18,40	0,233
201	10.11.2021 г. 11:30	70,17	13,29	86	2,98	35,27	8,99	19,09	0,236
205	8. После прохождения образца № 7.2 – Гипс доломитизированный 09.11.2021 г. 14:30	19,33	11,52	128	3,13	53,71	6,32	2,99	0,226
206	09.11.2021 г. 23:30	70,17	13,29	112	0,02	57,72	7,29	8,97	0,226
207	10.11.2021 г. 11:30	64,07	12,41	136	3,27	40,88	9,48	32,89	0,300

Примечание. Знаком* отмечены пробы, отобранные в ходе проведения испытаний по первой методике [10], все остальные пробы – по второй методике [6].

2. Химический состав растворителя, проходящего через испытываемые образцы, с течением времени изменяется, иногда весьма существенно. Это обусловлено возрастающим насыщением пород в зоне отверстий водой и изменением химического состава пород в ходе проведения опытов.

Результаты экспериментальных испытаний по определению скорости растворения гипсовых пород (роста пролета карстовых полостей, т. е. их расширения в двух взаимно противоположных направлениях) сведены в табл. 2.



Таблица 2

**Результаты экспериментальных испытаний по определению скорости
растворения гипсовых пород**

Но- мер об- раз- ца	Краткое описание испытываемого образца	Минера- лизация раствор- ителя, г/л	Проект- ный расход раствор- ителя, л/сут	Время прове- дения испы- таний, сут	Диаметр отвер- стия до / после испыта- ний, мм	Скорость раство- рения пород, см/год
<i>Первая методика</i>						
4.1	Гипс мелко-, среднезернистый массивный с «теневым» желваковым строением и обособлениями пелитоморфного доломита	1,969	0,53	14,0	6,85 / 8,0	3,0
*5.1	Гипс мелко-, среднезернистый с массивной до линзовидно-слоистой текстурой и обломками пелитоморфного доломита		0,50		6,55 / 7,15	1,56
4.2	Идентично 4.1	0,216	0,53		6,9 / 8,2	3,39
*5.2	Идентично 5.1		0,50	6,5 / 7,55	2,74	
<i>Вторая методика</i>						
6.1	Гипс мелко-, среднезернистый массивный с «теневым» желваковым строением и обособлениями пелитоморфного доломита	1,969	114,13	1,25	6,25 / 6,7	0,11
7.1	Гипс мелко-, среднезернистый доломитизированный (с включениями пелитоморфного доломита)		118,69		6,5 / 7,0	0,13
6.2	Идентично 6.1	0,216	125,08		6,85 / 7,8	0,25
7.2	Идентично 7.1		115,04	6,3 / 7,25	0,23	

*После завершения испытаний в нижней части образца 5.1 в отверстии обнаружены отдельные включения доломита, а в нижней части образца 5.2 – точечные включения доломита, которые равномерно распределены по периметру отверстия.

Анализируя полученные результаты экспериментальных испытаний (см. табл. 2), представляется возможным сделать следующие практические выводы:

1. Скорость растворения гипсовых пород зависит от наличия в них включений. Например, наличие карбонатных включений привело к уменьшению скорости растворения гипсов по первой методике в 1,2–1,9 раза.

2. На скорость растворения гипсовых пород оказывает влияние минерализация растворителя. Причем это влияние увеличивается при возрастании скорости движения растворителя. Так, при низкой скорости движения растворителя (первая методика) уменьшение его минерализации в 9,1 раза привело к увеличению скорости растворения гипсов всего лишь в 1,13 раза, тогда как при высокой скорости движения (вторая методика) – к возрастанию скорости растворения уже в несколько раз.

3. Результаты экспериментальных испытаний гипсов, выполненных по первой методике в высокоминерализованном растворителе (скорость растворения – 1,56–3,0 см/год, средняя – 2,28 см/год), в среднем в 1,25 раза превышают результаты шести ранее проведенных опытов (скорость растворения – 0,61–2,95 см/год, средняя – 1,84 см/год) [10], что главным образом обусловлено различиями в химическом составе и прочности пород.

4. Обстоятельных работ, содержащих полноценные исходные данные и ре-



зультаты экспериментальных исследований по второй методике, практически нет. Единственный такой эксперимент, найденный авторами статьи, изложен в Рекомендациях ПНИИИС [6], согласно которому пролет карстовой полости принят равным 0,9 м, скорость движения подземных вод – 11,23 м/сут (число Рейнольдса $R_e = 87$), вид растворителя – водопроводная вода. По результатам десяти опытов скорость расширения полости ρ составила 0,088 см/год. Сравнивая данное значение с результатами текущих опытов, видно, что скорость растворения гипсов в пресном растворителе получена больше в 2,6–2,8 раза, а в высокоминерализованном – в 1,3–1,5 раза.

5. Значения скорости растворения гипсовых пород, определенные по обоим методикам, сильно различаются между собой (более чем на порядок). На данном моменте остановимся подробнее.

По мнению авторов статьи, результаты экспериментов по второй методике в большинстве случаев (но далеко не во всех) ближе к естественным (природным) условиям, так как согласно результатам по первой методике (средняя скорость растворения – 2,28 см/год), например, за тысячелетие карстовые полости становились бы критическими (расширение полостей в среднем составляло бы 22,8 м) и приводили в основном к повсеместному возникновению карстовых деформаций на дневной поверхности и в основании сооружений (даже на слабо закарстованных территориях), чего в действительности (на примере г. Дзержинска Нижегородской области) не наблюдается [11].

Завышение скоростей растворения карстующихся пород обусловлено невозможностью в экспериментальных испытаниях в полной мере воспроизвести природные условия как минимум по двум основным причинам. Во-первых, при заборе, транспортировке и проведении опытов минерализация растворителя уменьшается. Поэтому важно сокращать время от момента забора растворителя из выработок до завершения экспериментов. Во-вторых, при вырезании призм и высверливании отверстий происходят локальные нарушения поверхностей растворения, видимые только под микроскопом. Поэтому при подготовке поверхностей важно минимизировать их нарушения.

Принимая во внимание два вышеизложенных абзаца, получаемые значения скоростей растворения сульфатных пород по первой методике следует считать максимально возможными, поскольку в природных условиях, если они и встречаются, то не очень часто. Для определения наиболее вероятных (средних) значений, более близких к естественным условиям, представляется целесообразным использовать нормальный закон распределения, т. е. максимальную скорость растворения уменьшать приблизительно в несколько раз.

В качестве заключительного вывода отметим, что в инженерном карстоведении для количественной оценки скорости растворения сульфатных пород могут применяться обе рассмотренные методики. При этом в качестве растворителя рекомендуется использовать, как правило, подземные воды, приуроченные к карстующимся породам. Однако в некоторых случаях (например, в первой методике при крайне низкой скорости движения подземных вод, а также при выборе второй методики) допускается применять водопроводную (пресную) воду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-



геологических процессов : свод правил : дата введения 2001-01-01. – Москва : Госстрой России, 2003. – 158 с. – Текст : непосредственный.

2. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений : свод правил : актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями № 1, 2, 3) : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. N 970/пр : дата введения 2017-07-01. – Москва : Минстрой России, 2019. – 228 с. – Текст : непосредственный.

3. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения : актуализированная редакция СНиП 22-02-2003 (с Изменением № 1) : утвержден и введен в действие приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. N 274 : введен в действие с 1 января 2013 г. – Москва : Минрегион России, 2020. – 77 с. – Текст : непосредственный.

4. СП 499.1325800.2021. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от карстово-суффозионных процессов. Правила проектирования : свод правил : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 2 марта 2021 года N 105/пр : дата введения 2021-09-03. – Москва : Минстрой России, 2021. – 72 с. – Текст : непосредственный.

5. Толмачев, В. В. Оценка надежности земляного полотна железных дорог в районах распространения карстовых процессов : 05.00.00 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Толмачев Владимир Викторович. – Москва, 1968. – 196 с. – Текст : непосредственный.

6. Рекомендации по лабораторному физическому моделированию карстовых процессов / Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве. – Москва : Стройиздат, 1984. – 48 с. : ил. – Текст : непосредственный.

7. Кузнецов, А. М. О выщелачивании гипса и ангидрита / А. М. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Тезисы докладов Молотовской карстовой конференции / Молотовский естественно-научный институт и Молотовский государственный университет имени А. М. Горького. – Молотов, 1947. – С. 16–17.

8. Родионов, Н. В. Инженерно-геологические исследования в карстовых районах при устройстве малых водоемов, гражданском и промышленном строительстве : методические указания / Н. В. Родионов. – Москва : Госгеолтехиздат, 1958. – 183 с. – Текст : непосредственный.

9. Горбунова, К. А. Карст гипса СССР: учебное пособие по спецкурсу / К. А. Горбунова. – Пермь : Изд-во Пермск. ун-та, 1977. – 83 с. – Текст : непосредственный.

10. Уткин, М. М. Практический опыт определения скорости растворения карстующихся пород в лабораторных условиях на одном из этапов скоростной автомобильной дороги М-12 «Москва - Нижний Новгород - Казань» / М. М. Уткин, М. В. Уткин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 2. – С. 61–68.

11. Толмачев, В. В. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий / В. В. Толмачев, Г. М. Троицкий, В. П. Хоменко ; под редакцией Е. А. Сорочана. – Москва : Стройиздат, 1986. – 176 с. – Текст : непосредственный.

UTKIN Mikhail Mikhaylovich, candidate of technical sciences, leading engineer of karstological investigation; UTKIN Mikhail Viktorovich, laboratory assistant

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING DISSOLUTION RATE OF SULFATE ROCKS IN LABORATORY CONDITIONS



JSC Geo Palitra

3, Kostin St., off. P53, Nizhny Novgorod, 603000, Russia. Tel.: +7 (920) 252-22-69;

e-mail: geokarst@mail.ru, mike531900@gmail.com

Key words: karst, rock dissolution, dissolution rate of karst rocks, rate of karst cavity growth.

The article presents a comparative analysis of methods for determining the sulfate rocks dissolution rate in laboratory conditions and is a continuation of the authors' research on this topic, given in the article of the Privolzhsky Scientific Journal No. 2 of 2022, which examines the practical experience of determining the rate of dissolution of karst rocks.

REFERENCES

1. SP 11-105-97. Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya dlya stroitelstva. Chast II. Pravila proizvodstva rabot v rayonakh razvitiya opasnykh geologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh protsessov [Engineering geological site investigations for construction. Part II. Rules of work in areas of development of hazardous geological and engineering-geological processes] : svod pravil : data vved. 2001-01-01. Moscow, Gosstroy Rossii, 2003, 158 p.
2. SP 22.13330.2016. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Soil bases of buildings and structures] : svod pravil : aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.02.01-83* (s Izmeneniyami № 1, 2, 3) : utverzhd. i vved. v deystvie Prikazom Min-va stroit-va i zhilishchno-kommunal. khozyaystva RF ot 16 dekabrya 2016 g. N 970/pr : data vved. 2017-07-01. Moscow, Ministroy Rossii, 2019, 228 p.
3. SP 116.13330.2012. Inzhenernaya zaschita territoriy, zdaniy i sooruzheniy ot opasnykh geologicheskikh protsessov. Osnovnye polozheniya [Engineering protection of territories, buildings and structures from dangerous geological processes. Generals.] : aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 22-02-2003 (s Izmeneniyami №1) : utverzhd. i vved. v deystvie prikazom Min-va region. razvitiya RF (Minregion Rossii) ot 30 iyunya 2012 g. № 274 : vved. v deystvie s 1 yanvarya 2013 g. Moscow, Minregion Rossii, 2020, 77 p.
4. SP 499.1325800.2021. Inzhenernaya zaschita territoriy, zdaniy i sooruzheniy ot karstovo-suffuzionnykh protsessov. Pravila proektirovaniya [Engineering protection of territories, buildings and structures from karst-suffusion processes. Design rules] : svod pravil : utverzhd. Prikazom Min-va stroit-va i zhilishchno-kommun. khozyaystva RF ot 2 marta 2021 g. N 105/pr : data vved. 2021-09-03. Moscow, Ministroy Rossii, 2021, 72 p.
5. Tolmachyov V. V. Otsenka nadyozhnosti zemlyanogo polotna zheleznykh dorog v rayonakh rasprostraneniya karstovykh protsessov [Assessed reliability of the roadbed in the karst areas]: 05.00.00 : dis. ... kand. tekhn. nauk. Moscow, 1968, 196 p.
6. Rekomendatsii po laboratornomu fizicheskomu modelirovaniyu karstovykh protsessov [Recommendations for laboratory physical modeling of karst processes]. Moscow, Stroyizdat, 1984. 48 p.: il.
7. Kuznetsov A. M. O vyschelachivaniy gipsa i angidrita [About the gypsum and anhydrite leaching]. Tezisy dokladov Molotovskoy karstovoy konferentsii [Abstracts of the Molotov Karst Conference]. Molotovskiy estestvenno-nauchny institut i Molotovskiy gos. un-t im. A. M. Gorkogo. Molotov, 1947. P. 16-17.
8. Rodionov N. V. Inzhenerno-geologicheskie issledovaniya v karstovykh rayonakh pri ustroystve malyykh vodoyomov, grazhdanskom i promyshlennom stroitelstve: metodicheskie ukazaniya [Engineering-geological research in karst areas in the construction of small reservoirs, civil and industrial construction: guidelines]. Moscow, Gosgeoltekhizdat, 1958. 183 p.
9. Gorbunova K. A. Karst gipsa SSSR [USSR gypsum karst]: uchebnoe posobie po spetskursu. Perm, Izd. Permskogo un-ta, 1977. 83 p.
10. Utkin M. M., Utkin M. V. Prakticheskiy opyt opredeleniya skorosti rastvoreniya karstuyuschikhsya porod v laboratornykh usloviyakh na odnom iz etapov skorostnoy avtomobilnoy dorogi M-12 «Moskva - Nizhny Novgorod - Kazan» [Practical experience in determining the karst rocks dissolution rate in laboratory conditions at one of the sections of the M-12 “Moscow – Nizhny Novgorod – Kazan” expressway]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal].



Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2022. № 2. P. 61–68.

11. Tolmachyov V. V., Troitskiy G. M., Khomenko V. P. Inzhenerno-stroitelnoe osvoenie zakarstovannykh territoriy [Geotechnical reclamation of karst area]. Pod red. E. A. Sorochana. Moscow, Stroyizdat, 1986, 176 p.

© М. М. Уткин, М. В. Уткин, 2022

Получено: 30.03.2022 г.

УДК 622.692.4.053

О. Б. КОНДРАШКИН, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой технологии строительства; **А. А. ОСКИРКО**, ст. преподаватель кафедры технологии строительства; **И. Н. САМИКОВ**, магистрант

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТРУБОПРОВОДА С ОСНОВАНИЕМ ИЗ ГРУНТОВЫХ МОДУЛЕЙ И СРЕДСТВ БАЛЛАСТИРОВКИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-74;
эл. почта: anoskirko@yandex.ru

Ключевые слова: магистральные трубопроводы, строительные конструкции линейных объектов, технологии строительства трубопроводов, сложные геологические условия строительства, средства балластировки, предложения по совершенствованию.

Проведен анализ способов прокладки магистральных нефтегазопроводов, современных технологий производства СМР, изучены практические проблемы при строительстве, реконструкции и ремонте линейных объектов нефтегазовой отрасли в условиях слабонесущих и многолетнемерзлых грунтов, подобраны наиболее оптимальные решения по технологии строительства трубопроводов в водонасыщенных и вечномерзлых грунтах с учетом решения возникающих проблем. Результатом проведенного исследования являются разработанные предложения по модернизации строительных конструкций, совершенствованию технологии строительства линейных объектов в осложненных условиях.

В настоящее время ведется активная разработка и освоение месторождений нефти, газа и конденсата, расположенных преимущественно в северных широтах Российской Федерации, относящихся к арктическому и субарктическому климатическим поясам. Изобилие болот, озер и рек в совокупности с высоким уровнем грунтовых вод и сложившимися геокриологическими условиями в указанных поясах является фактором, осложняющим строительство, и требует особого подхода при проектировании и выполнении строительно-монтажных работ.

Магистральные трубопроводы могут достигать протяженности 4–5 тыс. км (например, «Трубопроводная система «Восточная Сибирь – Тихий океан», «Магистральный газопровод «Сила Сибири») и проходить через несколько климатических поясов: преимущественно арктический, субарктический и умеренный.

Помимо арктического климата, северные и восточные районы строительства в нашей стране характеризуются очень сложными геологическими условиями: наличием протяженных участков многолетнемерзлых грунтов, слабонесущих и