МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 669

Поступила 17.09.2015

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ–СВИДЕТЕЛЕЙ БЕСШОВНЫХ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ТРУБ, ПРОШЕДШИХ ИСПЫТАНИЯ В СКВАЖИНАХ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУП «ПО «БЕЛОРУСНЕФТЬ» НА ПРЕДМЕТ ИХ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ

RESEARCH OF WITNESS SAMPLES OF SEAMLESS HOT–ROLLED PIPES AFTER TESTS IN WELLS OF OIL FIELDS OF RUP «ON «BELORUSNEFT» REGARDING THEIR CORROSION RESISTANCE

И. А. КОВАЛЕВА, Н. А. ХОДОСОВСКАЯ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Беларусь

I. A. KOVALEVA, N. A. HODOSOVSKAYA, JSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Belarus

Проведены промысловые испытания образцов-свидетелей коррозии, изготовленных из бесшовных горячекатаных труб различных марок стали производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» в действующих трубопроводах трех нефтяных месторождений. По результатам проведенных исследований совместно со специалистами РУП «ПО «Белоруснефть» для каждого из месторождений определены наиболее устойчивые к коррозии марки стали: для скважины 146 Ново-Давыдовского месторождения – сталь марки ТТ309; для скважины 270 Речицкого месторождения – стали марки 20 и ТТ359; для скважины 59 Осташковичского месторождения – сталь марки ТТ309.

Field tests of the witness samples of corrosion made of seamless hot-rolled pipes of various steel brands produced by JSC «BMZ – Management Company of Holding «BMK» were carried out in the operating pipelines at three oil fields. The results of the conducted researches made by the experts of RUP «ON «Belorusneft» permitted to define the most stable steel brands against corrosion for each of the oil fields: for a well 146 New and Davydovsky fields – brand steel TT309; for a well 270 Rechitsky fields – steel brands 20 and TT359; for a well 59 Ostashkovichsky fields – TT309 brand steel.

Ключевые слова. *Промысловые испытания образцов-свидетелей; виды коррозионных разрушений; глубина коррозии; коррозионная стойкость; эксплуатационная надежность нефтелиний.*

Keywords. *Field tests of witness samples; types of corrosion destructions; corrosion depth; corrosion resistance; operational reliability of the oil pipelines.*

Один из видов деятельности РУП «ПО «Белоруснефть» – добыча нефти и попутного нефтяного газа. Транспортируемая продукция содержит агрессивные компоненты (сероводород и углекислый газ), а также постоянно обводняется (рост процента воды в продукции скважин обусловлен длительностью эксплуатации месторождений – более 40 лет). В результате коррозионная агрессивность добываемой продукции увеличивается и, как следствие, увеличивается риск отказов трубопроводов. Основным материалом, используемым РУП «ПО «Белоруснефть» для строительства трубопроводов, является сталь марки 20. Однако данная сталь не обеспечивает нормативный срок эксплуатации труб. В связи с этим со стороны РУП «ПО «Белоруснефть» была выражена заинтересованность в поиске новых марок сталей отечественного производства, способных обеспечить высокую коррозионную стойкость, для строительства новых и замены существующих трубопроводов.

Совместно со специалистами РУП «ПО «Белоруснефть» были проведены промысловые испытания образцов-свидетелей коррозии, изготовленных из бесшовных горячекатаных труб различных марок стали производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» в действующих трубопроводах трех месторождений. После промысловых испытаний образцы были исследованы специалистами центральной лаборатории аналитических исследований БелНИПИнефть и исследовательской лаборатории

Исследовательского центра ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» Маркировка образцов-свидетелей приведена в табл. 1.

Таблица 1. **Маркировка образцов-свидетелей**

Название месторождения и номер скважины	Маркировка	Марка стали
Ново-Давыдовское, скв. 146	146–1	ТТ359
	146–2	ТТ309
	146–3	ТТ301
	146–4	20
Речицкое, скв. 270	270–1	ТТ359
	270–2	ТТ309
	270–3	ТТ301
	270–4	20
Осташковичское, скв. 59	59–1	20
	59–2	ТТ301
	59–3	ТТ309
	59–4	ТТ359

Коррозионную стойкость оценивали по потере массы образцов за время испытаний, а также по глубине очагов локальной коррозии, образовавшейся на поверхности за время испытаний.

Химический состав образцов-свидетелей определяли в лаборатории аналитического обеспечения ЦЗЛ на эмиссионном спектрометре ARL 3560. Результаты приведены в табл. 2.

Из таблицы видно, что идентификация образцов-свидетелей по маркам стали соблюдена и соответствует: образцы № 146-4; 270-4; 59-1 – сталь марки 20 по ГОСТ 1050; образцы № 146-3; 270-3; 59-2 – сталь марки ТТ301 по ЗТУ 840-18-2011; образцы № 146-2; 270-2; 59-3 – сталь марки ТТ309 по ЗТУ 840-18-2011; образцы № 146-1; 270-1; 59-4 – сталь марки ТТ359 по ЗТУ 840-18-2011.

Таблица 2. **Результаты определения химического состава**

Название месторождения и номер скважины	Номер образца/ марка стали	Массовая доля элементов, %									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Mo
Ново-Давыдовское, скв.146	146-1/ТТ359	0,30	0,35	1,18	0,012	0,006	0,82	0,13	0,16	0,030	0.23
	146-2/ТТ309	0,28	0,22	1,17	0,012	0,006	0,37	0,11	0,17	0,027	0,11
	146-3/ТТ301	0,27	0,19	1,22	0,013	0,005	0.30	0,11	0,19	0,032	0,11
	146-4/20	0,17	0,23	0,50	0,015	0,014	0,04	0,02	0,04	0,038	0,002
Речицкое, скв.270	270-1/ТТ359	0.30	0,34	1,16	0,011	0,006	0,81	0,14	0,16	0,029	0,24
	270-2/ТТ309	0,27	0,21	1,16	0,012	0.004	0,36	0,10	0,15	0,028	0,11
	270-3/ТТ301	0,27	0,20	1,24	0,014	0,005	0,30	0,11	0,18	0,034	0,12
	270-4/20	0,19	0,23	0,52	0,016	0,018	0,04	0,02	0,04	0,037	0,003
Осташковичское, скв.59	59-1/20	0,18	0,23	0,51	0,015	0,015	0,04	0,02	0,04	0,036	0,003
	59-2/ТТ301	0,30	0,24	1,19	0,011	0,005	0,08	0,10	0,14	0,034	0,012
	59-3/ТТ309	0,28	0,24	1,22	0,011	0,008	0,35	0,09	0,17	0,026	0,13
	59-4/ТТ359	0,28	0,31	1,13	0,015	0.007	0,82	0,09	0,31	0,025	0,23
20 ГОСТ 1050-88[1]		0,17–0,24	0,17–0,37	0,35–0,65	≤0,025	≤0,04	≤0,35	≤0,25	≤0,25	–	–
ТТ301 Стандартная спецификация № 1374-0/СС-2014[2]		0,24–0,30	0,13–0,27	1,06–1,43	≤0,015	≤0,010	≤0,30	≤0,25	≤0,25	≤0,020	≤0,08
ТТ309 Стандартная спецификация № 1374–0/СС-2014		0,24–0,30	0,13–0,27	1,06–1,43	≤0,015	≤0,010	0,27–0,63	≤0,25	≤0,25	≤0,020	0,09–0,16
ТТ359 Стандартная спецификация № 1374–0/СС-2014		0,24–0,30	0,20–0,35	1,06–1,34	≤0,015	≤0,010	0,75–0,95	≤0,25	≤0,35	≤0,020	0,22–0,32

Известно, что по характеру изменения поверхности металла или сплава различают несколько видов коррозионных разрушений (рис. 1).

[1] Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали.

[2] Трубы бесшовные горячедеформированные для нефте- и газопроводов.

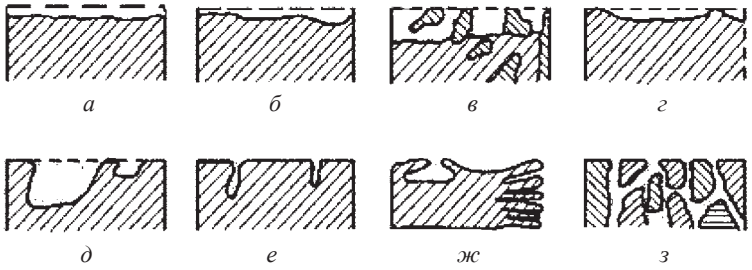
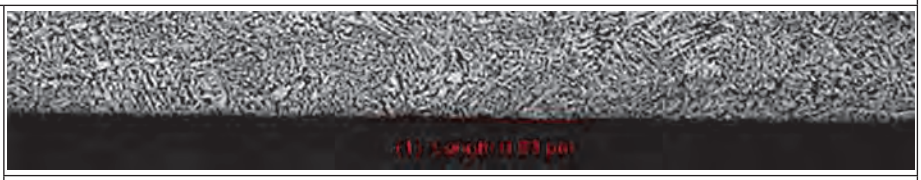
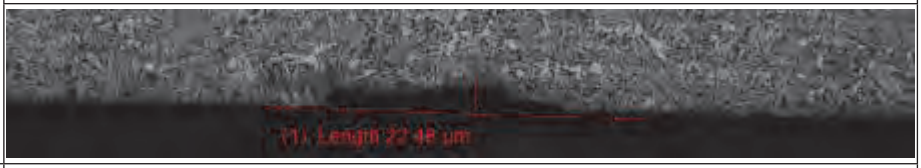
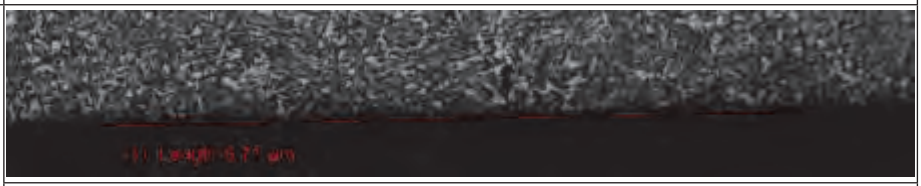
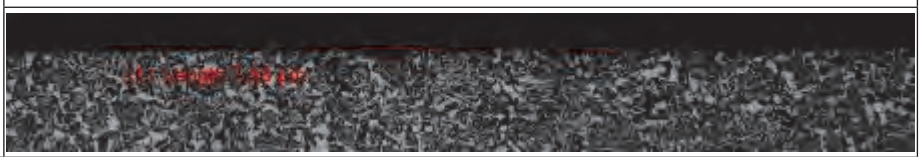
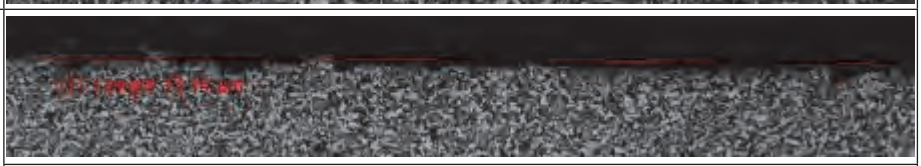
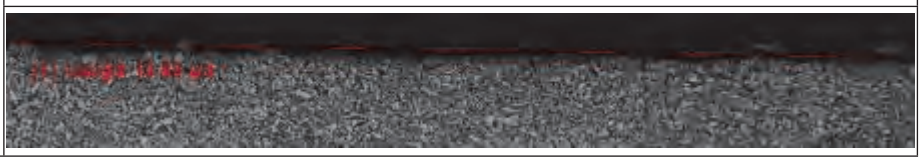


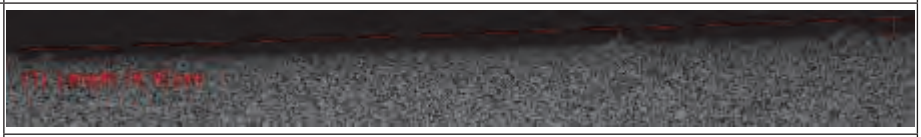
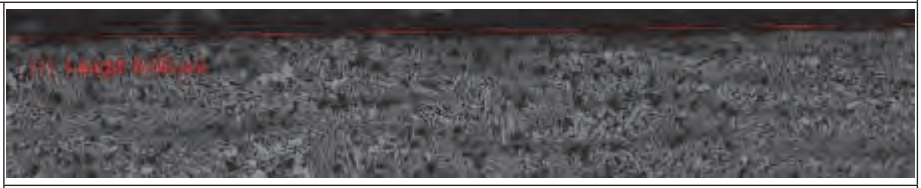
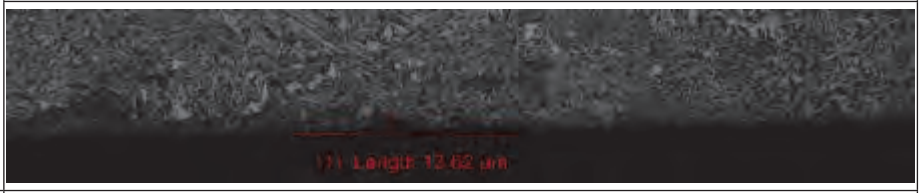
Рис. 1. Виды коррозии: *а* – сплошная равномерная; *б* – сплошная неравномерная; *в* – структурно-избирательная; *г* – пятнами; *д* – язвами; *е* – точками (питтинговая); *ж* – подповерхностная; *з* – межкристаллитная

Для проведения металлографического анализа из каждого образца-свидетеля было приготовлено по три микрошлифа с целью оценки микроструктуры и максимальной глубины коррозии. Результаты замеров представлены в табл. 3.

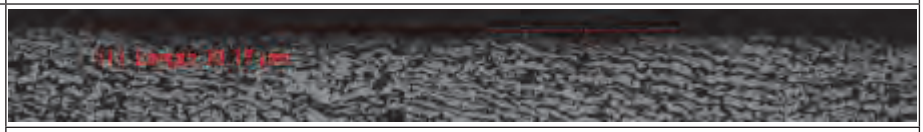
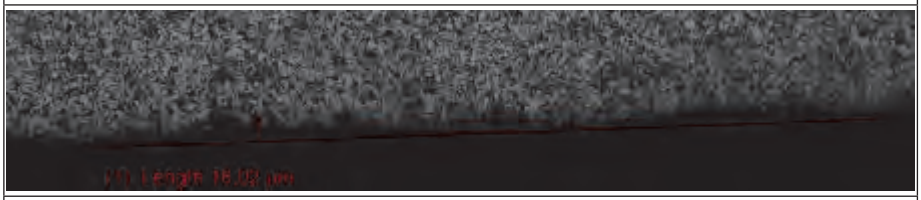
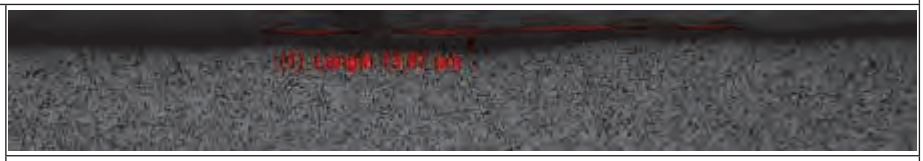
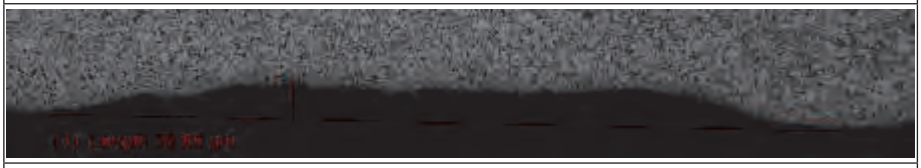
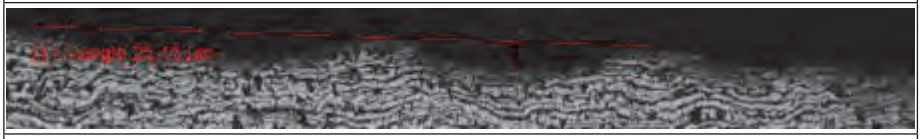
Таблица 3. **Металлографический анализ**

Номер образца	Марка стали, микроструктура	Результаты замеров глубины коррозии. ×100
СКВАЖИНА 146 НОВО-ДАВЫДОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ		
146–1	ТТ359 Бейнит	
146–11		
146–111		
146–2	ТТ309 Феррит+перлит	
146–22		
146–222		
146–3	ТТ301 Феррит+перлит	
146–33		

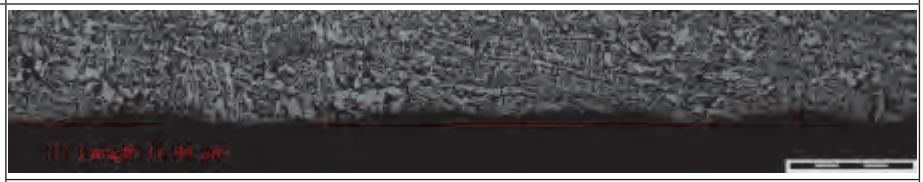
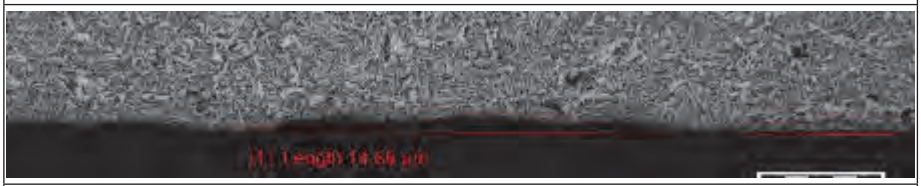
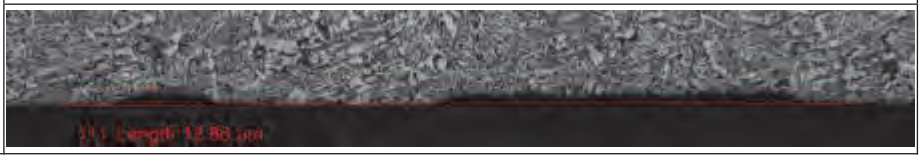
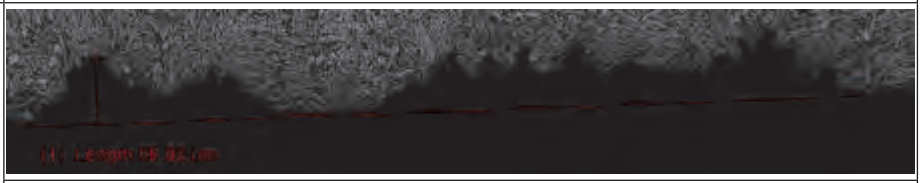
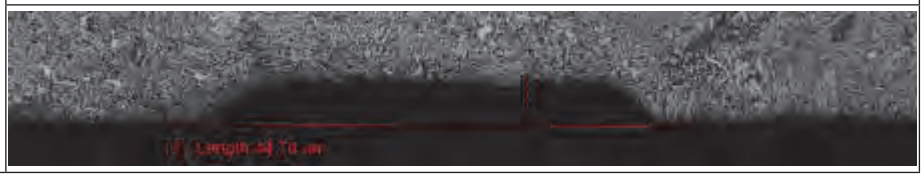
Продолжение табл. 3

Номер образца	Марка стали, микроструктура	Результаты замеров глубины коррозии. ×100
146–333	ТТ301 Феррит+перлит	
146–4	20 Феррит+перлит	
146–44		
146–444		
СКВАЖИНА 270 РЕЧИЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ		
270–1	ТТ359 Бейнит	
270–11		
270–111		
270–2	ТТ309 Феррит+перлит	
270–22		
270–222		
270–3	ТТ301 Феррит+перлит	

Продолжение табл. 3

Номер образца	Марка стали, микроструктура	Результаты замеров глубины коррозии. ×100
270–33	ТТ301 Феррит+перлит	
270–333		
270–4	20 Феррит+перлит	
270–44		
270–444		
СКВАЖИНА 59 ОСТАШКОВИЧСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ		
59–1	20 Феррит+перлит	
59–11		
59–111		
59–2	ТТ301 Феррит+перлит	
59–22		
59–222		

Продолжение табл. 3

Номер образца	Марка стали, микроструктура	Результаты замеров глубины коррозии. ×100
59–3	ТТ309 Феррит+перлит	
59–33		
59–333		
59–4	ТТ359 Бейнит	
59–44		
59–444		

В соответствии с рисунком был определен вид коррозии на каждом из исследуемых микрошлифов (табл. 4).

Таблица 4. **Результаты оценки видов коррозии**

Точка замера	Номер образца	Марка стали	Вид коррозии
Ново-Давыдовское месторождение, скв. 146	146–1	ТТ359	Сплошная равномерная
	146–11		То же
	146–111		Сплошная неравномерная
	146–2	ТТ309	Сплошная равномерная
	146–22		То же
	146–222		»
	146–3	ТТ301	Сплошная неравномерная
	146–33		То же
	146–333		»
	146–4	20	Сплошная равномерная
	146–44		То же
	146–444		»
Речицкое месторождение, скв. 270	270–1	ТТ359	Сплошная неравномерная
	270–11		Сплошная равномерная
	270–111		Сплошная неравномерная
	270–2	ТТ309	Сплошная равномерная
	270–22		То же
	270–222		Сплошная неравномерная
	270–3	ТТ301	Сплошная равномерная
	270–33		То же
	270–333		»

Продолжение табл. 4

Точка замера	Номер образца	Марка стали	Вид коррозии
Речицкое месторождение, скв. 270	270–4	20	»
	270–44		»
	270–444		»
Осташковичское месторождение, скв. 59	59–1	20	Пятнами
	59–11		То же
	59–111		»
	59–2	ТТ301	»
	59–22		»
	59–222		»
	59–3	ТТ309	»
	59–33		»
	59–333		»
	59–4	ТТ359	Межкристаллитная
	59–44		То же
	59–444		пятнами

В табл. 5 приведены результаты по определению показателей коррозии.

Таблица 5. **Результаты определения показателей коррозии**

Период проведения испытаний	Точка замера	Номер образца	Скорость коррозии, г/(м^2·ч)	Глубинная скорость коррозии, мм/год	Время испытаний, ч	Глубина коррозии, мм	Средняя глубина коррозии по трем образцам, мм
11.09.2014–17.09.2014	Ново-Давыдовское м-е н/л скв. 146 + 135 ОПИ **(ТТ359)**	1				0,0003	0,10
		2				0,08	
		3				0,22	
			0,0073	0,0082	888		
11.09.2014–17.09.2014	Ново-Давыдовское м-е н/л скв. 146 + 135 ОПИ **(ТТ309)**	1				0,07	0,05
		2				0,02	
		3				0,07	
			0,0061	0,0069	888		
11.09.2014–17.09.2014	Ново-Давыдовское м-е н/л скв. 146 + 135 ОПИ **(ТТ301)**	1				0,15	0,11
		2				0,11	
		3				0,07	
			0,0071	0,0081	888		
11.09.2014–17.09.2014	Ново-Давыдовское м-е н/л скв. 146 + 135 ОПИ **(20)**	1				0,14	0,10
		2				0,07	
		3				0,09	
			0,0061	0,0069	888		
06.09.2014–18.09.2014	Речицкое м-е н/л скв. 270 ОПИ **(ТТ359)**	1				0,08	0,10
		2				0,09	
		3				0,14	
			0,0203	0,0230	1032		
06.09.2014–18.09.2014	Речицкое м-е н/л скв. 270 ОПИ **(ТТ309)**	1				0,07	0,11
		2				0,07	
		3				0,20	
			0,0274	0,0310	1032		
06.09.2014–18.09.2014	Речицкое м-е н/л скв. 270 ОПИ **(ТТ301)**	1				0,10	0,10
		2				0,10	
		3				0,11	
			0,0341	0,0385	1032		
06.09.2014–18.09.2014	Речицкое м-е н/л скв. 270 ОПИ **(20)**	1				0,10	0,12
		2				0,16	
		3				0,09	
			0,0183	0,0207	1032		

Продолжение табл. 5

Период проведения испытаний	Точка замера	Номер образца	Скорость коррозии, г/(м^2·ч)	Глубинная скорость коррозии, мм/год	Время испытаний, ч	Глубина коррозии, мм	Средняя глубина коррозии по трем образцам, мм
14.08.2014–25.09.2014	Осташковичское м-е н/л скв. 59 ОПИ **(Ст20)**	1				0,14	0,21
		2				0,31	
		3				0,18	
			0,1081	0,1222	1008		
14.08.2014–25.09.2014	Осташковичское м-е н/л скв. 59 ОПИ **(ТТ301)**	1				0,37	0,25
		2				0,25	
		3				0,13	
			0,0587	0,0663	1008		
14.08.2014–25.09.2014	Осташковичское м-е н/л скв. 59 ОПИ **(ТТ309)**	1				0,13	0,14
		2				0,15	
		3				0,13	
			0,0298	0,0337	1008		
14.08.2014–25.09.2014	Осташковичское м-е н/л скв. 59 ОПИ **(ТТ359)**	1				0,59	0,50
		2				0,46	
		3				0,45	
			0,0893	0,1010	1008		

По ГОСТ 13819-68[1] оценку коррозионной стойкости черных и цветных металлов, а также их сплавов при условии их равномерной коррозии проводят по десятибалльной шкале (табл. 6).

Таблица 6. **Шкала оценки коррозионной стойкости металлов по ГОСТ 13819**

Группа стойкости	Глубинный показатель коррозии, мм/год	Балл
Совершенно стойкие	Менее 0,001	1
Весьма стойкие	0,001–0,005	2
	0,005–0,010	3
Стойкие	0,01–0,05	4
	0,05–0,10	5
Понижено стойкие	0,10–0,50	6
	0,50–1,0	7
Малостойкие	1,0–5,0	8
	5,0–10,0	9
Нестойкие	Свыше 10,0	10

Используя данные таблицы (показатель глубинной скорости коррозии), была произведена оценка коррозионной стойкости исследуемых образцов-свидетелей в соответствии с ГОСТ 13819. Результаты приведены в табл. 7.

Таблица 7. **Результаты оценки коррозионной стойкости**

Точка замера	Марка стали	Глубинная скорость коррозии, мм/год	Балл	Группа стойкости
Ново-Давыдовское месторождение н/л скв. 146 ОПИ	ТТ359	0,0082	3	Весьма стойкие
	ТТ309	0,0069	3	То же
	ТТ301	0,0081	3	»
	20	0,0069	3	»
Речицкое месторождение н/л скв. 270 ОПИ	ТТ359	0,0230	4	Стойкие
	ТТ309	0,0310	4	То же
	ТТ301	0,0385	4	»
	20	0,0207	4	»
Осташковичское месторождение н/л скв. 59 ОПИ	20	0,1222	6	Понижено стойкие
	ТТ301	0,0663	5	Стойкие
	ТТ309	0,0337	4	То же
	ТТ359	0,1010	6	Понижено стойкие

[1] Коррозия металлов. Десятибалльная шкала коррозионной стойкости.

Следует отметить, что в том случае, если коррозия носит местный характер, то скорость ее не может быть точно охарактеризована весовым или глубинным показателем. При питтинговой коррозии необходимо определять максимальный глубинный показатель. При межкристаллитной коррозии (как, например, в микрошлифе № 59 Осташковичского месторождения, сталь марки ТТ359) и коррозионном растрескивании скорость коррозии количественно характеризуется механическим показателем коррозии.

В результате анализа полученных данных по каждой из стадий проведенных исследований была составлена таблица (табл. 8), в которой указаны исследуемые марки стали в порядке уменьшения их стойкости к коррозии, а также были построены графики (рис. 2, 3).

Таблица 8. **Стойкость к коррозии (в порядке уменьшения) исследуемых марок стали**

Точка замера	Номер образца	Показатель коррозии		
		Скорость коррозии, г/(м^2·ч)	Средняя глубина коррозии, мм	Коррозионная стойкость, балл/(мм/год)
Ново-Давыдовское месторождение, скв. 146	1	ТТ309 (0,0061) | 20 (0,0061)	ТТ309 (0,05)	ТТ309 (3/0,0069) | 20 (3/0,0069)
	2	ТТ301 (0,0071)	20 (0,10) | ТТ359 (0,10)	ТТ301 (3/0,0081)
	3	ТТ359 (0,0073)	ТТ301 (0,11)	ТТ359 (3/0,0082)
Речицкое месторождение, скв. 270	1	20 (0,0183)	ТТ359 (0,10) | ТТ301 (0,10)	20 (4/0,0207)
	2	ТТ359 (0,0203)	ТТ309 (0,11)	ТТ359 (4/0,0230)
	3	ТТ309 (0,0274)	20 (0,12)	ТТ309 (4/0,0310)
	4	ТТ301 (0,0341)		ТТ301 (4/0,0385)
Осташковичское месторождение, скв. 59	1	ТТ309 (0,0298)	ТТ309 (0,14)	ТТ309 (4/0,0337)
	2	ТТ301 (0,0587)	20 (0,21)	ТТ301 (5/0,0663)
	3	ТТ359 (0,0893)	ТТ301 (0,25)	ТТ359 (6/0,1010)
	4	20 (0,1081)	ТТ359 (0,50)	20 (6/0,1222)

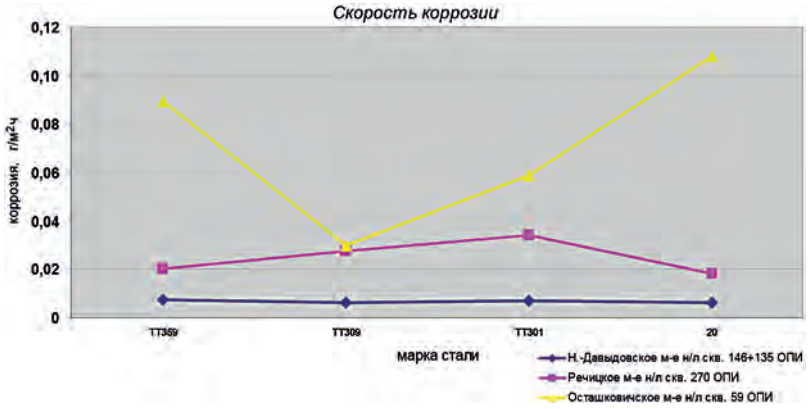


Рис. 2. Зависимость изменения скорости коррозии от марки стали

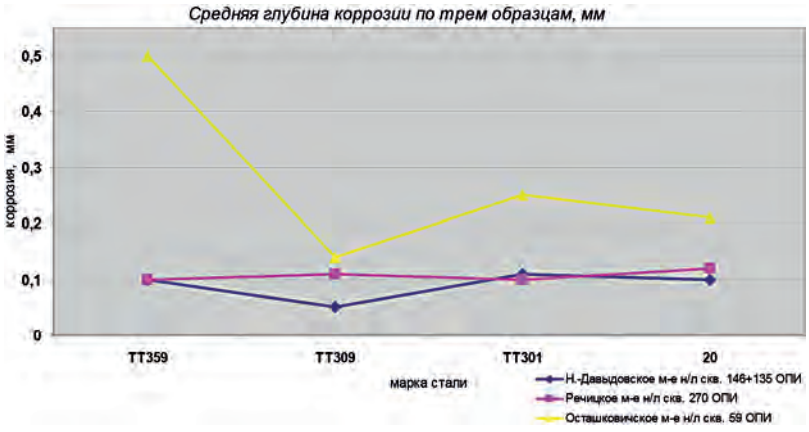


Рис. 3. Зависимость изменения средней глубины коррозии от марки стали

В результате проведенной исследовательской работы совместно со специалистами РУП «ПО «Белоруснефть» можно выделить для каждого из месторождений марки стали, наиболее устойчивые к коррозии:

- для скважины 146 Ново-Давыдовского месторождения – сталь марки ТТ309;
- для скважины 270 Речицкого месторождения – стали марки 20 и ТТ359;
- для скважины 59 Осташковичского месторождения – сталь марки ТТ309.

Сведения об авторах

Ковалева Ирина Анатольевна (E-mail: nl.icm@bmz.gomel.by), *Ходосовская Наталья Алексеевна* (E-mail: veng.icm@bmz.gomel.by), ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», ул. Промышленная, 37, 247210, Жлобин, Гомельская обл., Беларусь. Тел.: +375 2334 54 903.

Information about the authors

Kovaleva Irina (E-mail: nl.icm@bmz.gomel.by), *Hodosovskaya Natal'ya* (E-mail: veng.icm@bmz.gomel.by), JSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», 37, Promyshlennaya str., Zhlobin city, 247210, Gomel region, Belarus. Tel.: +375 2334 54 903.