УДК 628.147.22

АНАЛИЗ ТИПОВ КОРРОЗИИ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

♦♦♦♦♦

ANALYSIS OF CORROSION TYPES IN OIL AND GAS FIELD EQUIPMENT

Горпинченко Алексей Николаевич
ООО «Газпром персонал» проект «Ачим Деведопмент»
swengorr@yandex.ru

Аннотация. В статье выполнен анализ типов коррозии нефтегазопромыслового оборудования – межкристаллитная коррозия, «ножевая» коррозия, коррозионное растрескивание, язвенная коррозия, питтинговая (точечная) коррозия.

Ключевые слова: межкристаллитная коррозия; «ножевая» коррозия; коррозионное растрескивание; язвенная коррозия; питтинговая (точечная) коррозия.

Gorpinchenko Alexey Nikolaevich
LLC «Gazprom personnel»
project «Achim Development»
swengorr@yandex.ru

Annotation. The article analyzes the types of corrosion of oil and gas production equipment – intergranular corrosion; «knife» corrosion; stress corrosion cracking; pitting corrosion; pitting corrosion.

Keywords: intergranular corrosion; «knife» corrosion; stress corrosion cracking; pitting corrosion; pitting corrosion.

Межкристаллитная коррозия

Межкристаллитная коррозия – один из видов местной коррозии металла, который приводит к избирательному разрушению границ зерна (рис. 1). Межкристаллитная коррозия – очень опасный вид разрушения, т.к. визуально её не всегда можно определить. Металл теряет свою пластичность и прочность.

Рисунок 1 – Межкристаллитная коррозия

Межкристаллитной коррозии чаще всего подвергаются металлы и сплавы, которые легко становятся пассивными. К ним относятся хромникелевые и хромистые сплавы (нержавеющие стали), сплавы алюминия, никеля, некоторые другие.

Причина возникновения межкристаллитной коррозии – структурные превращения на границах зёрен металла. Зона структурных превращений становится анодом, который усиленно растворяется. Связь между зёрнами металла нарушается и происходит их выкрашивание. Вследствие этих процессов металлические конструкции при эксплуатации теряют свои свойства и быстро приходят в негодность.

Факторы межкристаллитной коррозии:

1) состав сплава;
2) температура;
3) время выдержки при повышенных температурах;
4) среда.

Скорость протекания межкристаллитной коррозии определяется потенциалом металла. Ускоренное её развитие наблюдается при потенциалах входа в транспассивную область (1,15–1,25 В), а также при потенциале активно-пассивного перехода (около 0,35В). В разных областях межкристаллитная коррозия может протекать по разным механизмам (рис. 2).

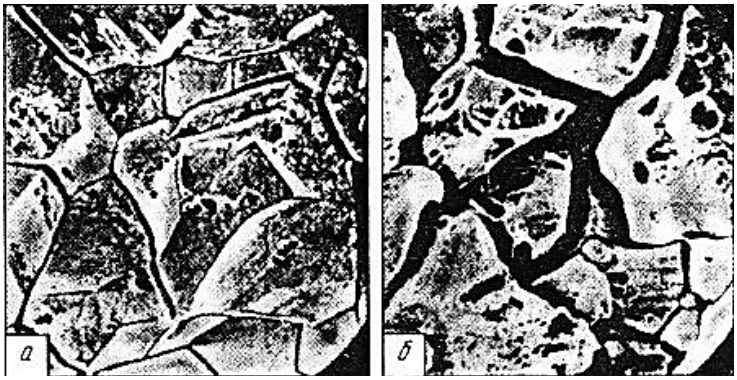

Рисунок 2 – Межкристаллитная коррозия:
а – микроструктура металла до коррозии;
б – микроструктура на стадии коррозии, образование трещин по границам металла

«Ножевая» коррозия

«Ножевая» коррозия – разновидность межкристаллитной коррозии. Ножевая коррозия – местное разрушение, которое наблюдается на сварных швах, протекает в узкой зоне на границе «основной металл – сварной шов» (рисунок 3). Ножевой коррозии подвержены многослойные сварные швы высокоуглеродистых хромникелевых сталей, стабилизированные титаном стали, которые эксплуатируются в азотной кислоте, даже стали с большим содержанием молибдена.

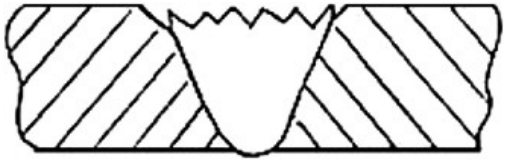

Рисунок 3 – «Ножевая» коррозия

При сварке почти расплавленный металл (с температурой около 1300 °С) контактирует с холодным. В расплавленном металле растворяются карбиды хрома или титана, а при его охлаждении не успевают выделиться новые карбиды. При этом углерод остаётся в твёрдом растворе. Из-за достаточно медленного охлаждения выпадает большое количество карбидов хрома. В агрессивных средах происходит постепенное растворение (на межкристаллитном уровне) узкой зоны возле сварного шва.

Предотвращение ножевой коррозии:

- применять только низкоуглеродистые хромникелевые стали;
- избегать «опасных» температур околошовной зоны;
- использовать стабилизирующий отжиг при температурах 870–1150 °С (карбиды хрома переходят в твёрдый раствор).

Коррозионное растрескивание

Коррозионное растрескивание металлов – это один из видов коррозионных разрушений (коррозии), при котором в металле зарождается и развивается множество трещин (рис. 4). Возникает коррозионное растрескивание при одновременном воздействии на металл агрессивной коррозионной среды и растягивающих напряжений. Характерной особенностью коррозионного растрескивания является практически полное отсутствие пластической деформации металлического изделия.

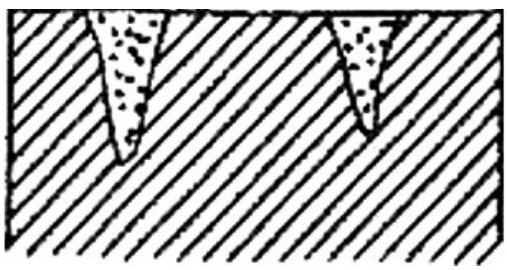

Рисунок 4 – Коррозионное растрескивание

Коррозионное растрескивание – очень опасный вид разрушения металла, т.к. не всегда его можно вовремя заметить. Чаще всего коррозионному растрескиванию подвергаются металлы, в которых после механической или термической обработки присутствуют остаточные напряжения; также металлические изделия, эксплуатируемые при повышенных температурах и давлениях. Встречается коррозионное растрескивание при сварке, сборке или монтаже металлических деталей и т.п.

Коррозионному растрескиванию могут подвергаться все металлы и сплавы, которые находятся в напряжённом состоянии. Большое влияние на интенсивность коррозионного растрескивания оказывает коррозионная среда (её характер, состав и концентрация агрессивных агентов).

В теплоэнергетической, химической и нефтегазовой отраслях 20–40 % всех коррозионных разрушений приходится именно на коррозионное растрескивание.

Особенности коррозионного разрушения металлов:

- существует возможность возникновения транскристаллитных и межкристаллитных трещин с разветвлениями;
- металл с появлением трещин охрупчивается;
- от величины приложенных растягивающих напряжений зависит время до начала образования трещины (индукционный период).

Коррозионное растрескивание сталей наблюдается в растворах, которые содержат кислоты, хлориды, щёлочи, нитраты, H_2S, CO_2, NH_3. Менее склонны к коррозионному растрескиванию углеродистые стали с перлитной или перлитно-ферритной структурой, содержащие в своём составе более 0,2 % углерода. Мартенситная структура стали является самой чувствительной к данному виду коррозии, т.к. все режимы термообработки, в результате которых образуется мартенсит, делают сталь склонной к коррозионному растрескиванию.

Хромникелевые аустенитные стали более подвержены коррозионному растрескиванию, чем ферритные и полуферритные хромистые стали. В нержавеющих сталях аустенит не обладает достаточной стабильностью и в условиях химических предприятий достаточно часто встречается коррозионное растрескивание аустенитных хромникелевых сталей. Введение стабилизаторов, легирующих компонентов, увеличение содержания никеля не оказывает существенного воздействия на склонность аустенитных сталей к коррозионному воздействию.

Коррозионному растрескиванию подвержены не только чёрные металлы и сплавы, а и цветные (например, медноцинковые и алюминиевомагниевые сплавы). В присутствии паров аммиака быстро корродируют с коррозионным растрескиванием сплавы меди с оловом, цинком и алюминием. А в растворах карбонатов, хлоридов, сульфатов и хроматов разрушаются магниевые сплавы, которые находятся в напряжённом состоянии (рис. 5).

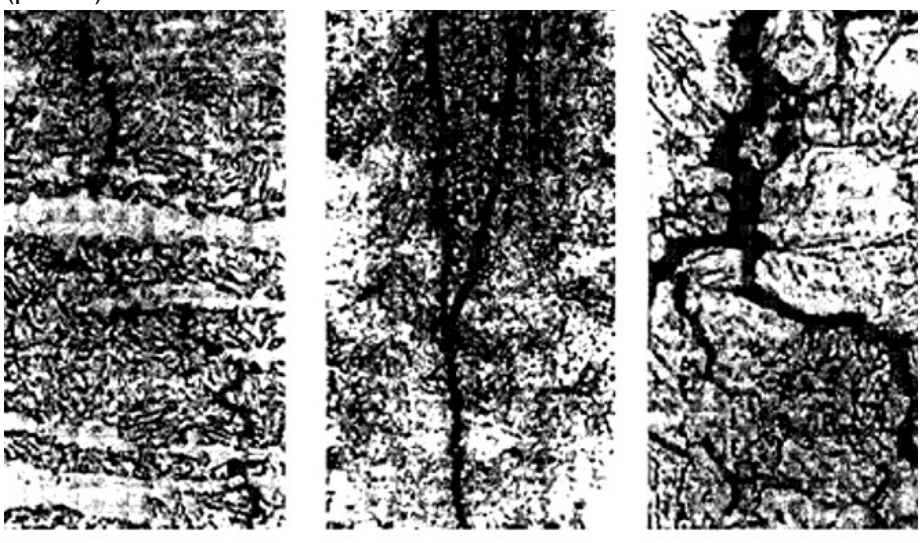

Рисунок 5 – Типичный вид коррозионного растрескивания:
а – сталь 03Х16Н4С2, межкристаллитное разрушение, слабо ветвящаяся трещина;
б – сталь 03Х12К12Н2, транскристаллитное разрушение;
в – сталь 03Х12К12Д2, межкристаллитное разрушение, ветвящаяся трещина

Язвенная коррозия

Язвенная коррозия – это форма локального поражения, результатом которой являются поры в металле (рис. 6). Эти поры могут быть как малого, так и большого диаметра, но чаще всего они относительно малы. Они могут быть причиной сквозного прободения металла или сплава. Часто поры изолированы либо расположены так близко друг к другу, что выглядят как шероховатость поверхности. В общем, поры можно представить как отверстия или каверны, диаметр которых равен или меньше их длины.

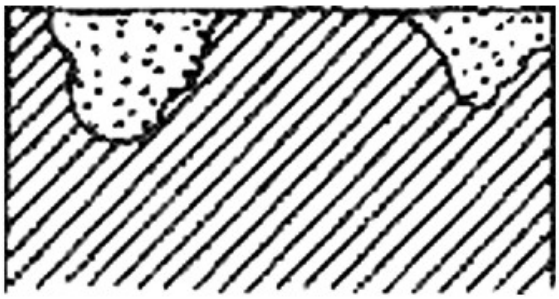

Рисунок 6 – Язвенная коррозия

Питтинг – это одна из наиболее коварных форм коррозии. Он приводит к разрушению оборудования вследствие сквозного прободения при очень незначительной потере общего веса всей конструкции.

Язвенная коррозия часто развивается в местах пор или повреждённых участков:

- непроводящего слоя металлической поверхности (окисной плёнки);
- металлического покрытия поверхности, которое является более благородным по отношению к основному металлу (это может инициировать питтинг на основном металле).

Язвенная коррозия часто наблюдается у нержавеющих стальных сплавов. На развитие коррозии влияют такие факторы, как температура и движение среды.

Питтинговая (точечная) коррозия

Питтинговая (точечная) коррозия – вид коррозионного разрушения, которому подвергаются исключительно пассивные металлы и сплавы. Питтинговая коррозия наблюдается у никелевых, циркониевых, хромникелевых, хромистых, алюминиевых сплавов и др.

При питтинговой (точечной) коррозии разрушению подвергаются только отдельные участки поверхности, на которых образуются глубокие поражения – питтинги (точечные язвы) (рис. 7).

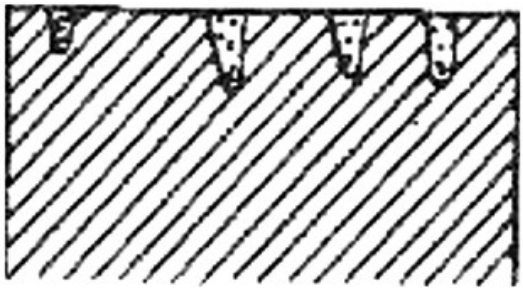

Рисунок 7 – Питтинговая (точечная) коррозия

Наблюдается питтинговая коррозия при воздействии на металл или сплав не только пассиваторов (приводят поверхность в пассивное состояние, например, окислитель), но и ионов-активаторов (Cl^-, Br^-, J^-). Активно протекает питтинговая (точечная) коррозия в морской воде, смеси азотной и соляной кислот, растворах хлорного железа, других агрессивных средах.

По размерам питтинги различают:

- микропиттинги (до 0,1 мм);
- питтинги (0,1–1 мм);
- пятно, язва (более 1 мм).

Питтинг может быть закрытым, открытым и поверхностным.

Открытые питтинги – хорошо видны на поверхности невооружённым глазом или под небольшим увеличением. Если открытых питтингов очень много – коррозия приобретает сплошной характер. В открытом питтинге дно поры выступает в качестве анода, а пассивная плёнка – катода.

Закрытые питтинги – очень опасный вид коррозионного разрушения, т.к. такие повреждения нельзя увидеть воочию, определить их наличие можно лишь по специальным приборам. Закрытые питтинги развиваются вглубь металла или сплава. Закрытый питтинг может послужить причиной пробоя даже в нержавеющих сталях.

Поверхностный питтинг – вид питтинга, который развивается больше вширь, чем вглубь, образуя на поверхности металла или сплава выбоины.

Этапы роста питтинга:

1. Зарождение питтинга происходит в местах дефектов пассивной плёнки (царапины, разрывы) или её слабых местах (если имеет место неоднородность сплава) при достижении определённого потенциала – потенциала питтингообразования. Ионы-активаторы вытесняют адсорбированный на поверхности кислород или при взаимодействии разрушают оксидную защитную плёнку.

2. Рост питтинга – происходит по электрохимическому механизму вследствие интенсивного растворения пассивной оксидной плёнки. Из-за активного растворения плёнки происходит усиление анодного процесса в самом питтинге (активационный рост питтинга). Со временем, когда питтинг будет достаточно расширен, активационный рост замедляется, начинается диффузионный режим роста питтинга.

3. Иногда рост питтинга прекращается и наступает стадия репассивации. Основной причиной репассивации можно считать сдвиг потенциала поверхности в отрицательную сторону, т.е. сторону пассивации. Питтинг с диффузионным режимом роста (постепенно, стабильно растущий питтинг) не может перейти в стадию репассивации.

Склонность к питтинговой коррозии определяется некоторыми факторами:

- природой металла или сплава (склонны к образованию питтингов алюминий, никель, цинк; молибден, хром, кремний и др. питтингообразованию не подвергаются);
- температурой (с повышением температуры растёт количество питтингов);
- состоянием поверхности (хорошо отполированная поверхность более стойкая, чем шероховатая);
- pH среды (чаще возникают питтинги в кислых средах);
- примесями в среде (наличием ионов-активаторов).

Защита металлов и сплавов от питтинговой (точечной) коррозии осуществляется следующими методами:

1) электрохимическая катодная и анодная защита (иногда вместе с ингибиторами);

2) подбор специальных материалов, которые не подвергаются питтинговой (точечной) коррозии. Повышению стойкости способствует введение в состав сплава хрома, молибдена, кремния и др. стойких металлов;

3) ингибирование замкнутых систем (применение нитратов, щелочей, хроматов, сульфатов).

Литература

1. Внутренняя коррозия шлейфов добывающих скважин / Н.И. Васильев [и др.] // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 4. – С. 19–22.
2. Горпинченко А.Н. Обзор и анализ современных ингибиторов, применяемых на месторождениях в условиях повышенной коррозионной активности // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 4. – С. 296–309.
3. Горпинченко А.Н. Оценка методов борьбы с коррозией в системе сбора и подготовки нефти и газа в условиях разработки месторождений Западной Сибири // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 3. – С. 119–134.
4. Анализ результатов коррозионного мониторинга Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения / А.Н. Горпинченко [и др.]; Под ред. Р.В. Агиней // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ – 2023: материалы XXIV Международной молодёжной научной конференции (30–31 марта 2023 го-

да, г. Ухта). – Ухта : Издательство «Ухтинский государственный технический университет», 2023. – С. 352–359.
5. Горпинченко А.Н. Анализ проблем на начальном этапе разработки 2 участка Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения // Технические и технологические системы: материалы XIII Международной научной конференции «ТТС-23» (22–24 ноября 2023 года, г. Краснодар). – Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2023. – С. 229–241.
6. Горпинченко А.Н. Расчёт скорости углекислотной коррозии внутрискважинного оборудования по различным методикам / А.Н. Горпинченко, А.А. Мельникова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2024. – № 1. – С. 133–146.
7. Горпинченко А.Н. Оценка эффективности технологии ингибирования газовых и газоконденсатных скважин в условиях углекислотной коррозии / А.Н. Горпинченко, Л.В. Поварова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 1. – С. 147–161.
8. Горпинченко А.Н. Анализ коррозионного мониторинга на одном из участков Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения / А.Н. Горпинченко, Л.В. Поварова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 2. – С. 237–252.
9. Классификация коррозионных процессов / Г.И. Кореновский [и др.] // REFERATOTECH: материалы II Международной научно-практической конференции (23 октября 2021 года, г. Краснодар) : в 2 т. – Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2022. – Т. 2. – С. 17–22.
10. Поварова Л.В. Коррозия трубопроводов и нефтегазового оборудования / Л.В. Поварова, В.С. Мунтян, А.С. Скиба // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 4. – С. 130–135.
11. Лабораторные испытания по оценке коррозионной агрессивности сред в условиях присутствия CO_2 / В.В. Полников [и др.] // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 2. – С. 368–371.
12. Савенок О.В. Особенности эксплуатации нефтяных и газовых скважин в условиях высокой коррозионной агрессии / О.В. Савенок, А.Н. Горпинченко // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 2. – С. 155–170.
13. Савенок О.В. Анализ коррозионно-механических разрушений конструкционных материалов нефтегазопромыслового оборудования / О.В. Савенок, А.Н. Горпинченко, П.П. Порывкин // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 3. – С. 133–147.
14. Разработка технического решения по предупреждению углекислотной коррозии / А.В. Шептухин [и др.]; Под ред. Р.В. Агиней // Рассохинские чтения: материалы Международной конференции (02–03 февраля 2023 года, г. Ухта). – Ухта : Издательство «Ухтинский государственный технический университет», 2023. – С. 119–126.
15. Состояние изученности проблемы углекислотной коррозии на примере Уренгойского месторождения / А.В. Шептухин [и др.] // Булатовские чтения. – 2023. – Т. 1. – С. 307–315.
16. Gorpinchenko A.N. Selection of a corrosion inhibitor taking into account the properties of the produced fluid / A.N. Gorpinchenko, L.V. Povarova, P.P. Poryvkin // Bulatov Readings. – 2025. – Vol. 1. – P. 150–153.

References

1. Internal corrosion of production well plumes / N.I. Vasiliev [et al.] // Bulatovskie chteniya. – 2017. – Vol. 4. – P. 19–22.
2. Gorpinchenko A.N. Review and analysis of modern inhibitors used in fields under conditions of increased corrosion activity // Science. Engineering. Technologies (polytechnical bulletin). – 2022. – № 4. – P. 296–309.
3. Gorpinchenko A.N. Evaluation of corrosion control methods in the oil and gas gathering and treatment system under conditions of field development in Western Siberia // Science. Engineering. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2023. – № 3. – P. 119–134.
4. Analysis of the results of corrosion monitoring of the Urengoy oil and gas condensate field / A.N. Gorpinchenko [et al.]; Edited by R.V. Agineya // SEVERGEOECOTECH – 2023: Proceedings of the XXIV International Youth Scientific Conference (March 30–31, 2023, Ukhta). – Ukhta : Publishing House «Ukhta State Technical University», 2023. – P. 352–359.
5. Gorpinchenko A.N. Analysis of problems at the initial stage of development of section 2 of the Urengoy oil and gas condensate field // Technical and technological systems: proceedings of the XIII International scientific conference «TTS-23» (November 22–24, 2023, Krasnodar). – Krasnodar : JSC «Izdatelsky Dom – Yug», 2023. – P. 229–241.
6. Gorpinchenko A.N. Calculation of the rate of carbon dioxide corrosion of downhole equipment using various methods / A.N. Gorpinchenko, A.A. Melnikova // Science. Engineering. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2024. – № 1. – P. 133–146.
7. Gorpinchenko A.N. Evaluation of the efficiency of gas and gas condensate well inhibition technology under carbon dioxide corrosion conditions / A.N. Gorpinchenko, L.V. Povarova // Science. Engineering. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2025. – № 1. – P. 147–161.

8. Gorpinchenko A.N. Analysis of corrosion monitoring at one of the sites of the Urengoy oil and gas condensate field / A.N. Gorpinchenko, L.V. Povarova // Science. Engineering. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2025. – № 2. – P. 237–252.
9. Classification of corrosion processes / G.I. Korenovsky [et al.] // REFERATOTECH: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference (October 23, 2021, Krasnodar) : in 2 vol. – Krasnodar : JSC «Izdatelsky Dom – Yug», 2022. – Vol. 2. – P. 17–22.
10. Povarova L.V. Corrosion of pipelines and oil and gas equipment / L.V. Povarova, V.S. Muntyan, A.S. Skiba // Bulatov Readings. – 2020. – Vol. 4. – P. 130–135.
11. Laboratory tests to assess the corrosive aggressiveness of environments in the presence of CO_2 / V.V. Polnikov [et al.] // Bulatov Readings. – 2020. – T. 2. – P. 368–371.
12. Savenok O.V. Features of operation of oil and gas wells under conditions of high corrosion aggression / O.V. Savenok, A.N. Gorpinchenko // Science. Engineering. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2022. – № 2. – P. 155–170.
13. Savenok O.V. Analysis of corrosion-mechanical destruction of structural materials of oil and gas field equipment / O.V. Savenok, A.N. Gorpinchenko, P.P. Poryvkin // Science. Engineering. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2022. – № 3. – P. 133–147.
14. Development of a technical solution for the prevention of carbon dioxide corrosion / A.V. Sheptukhin [et al.]; Edited by R.V. Agineya // Rassokhin readings: materials of the International conference (February 2–3, 2023, Ukhta). – Ukhta : Ukhta State Technical University Publishing House, 2023. – P. 119–126.
15. The state of knowledge of the carbon dioxide corrosion problem using the Urengoy deposit as an example / A.V. Sheptukhin [et al.] // Bulatov readings. – 2023. – Vol. 1. – P. 307–315.
16. Gorpinchenko A.N. Selection of a corrosion inhibitor taking into account the properties of the produced fluid / A.N. Gorpinchenko, L.V. Povarova, P.P. Poryvkin // Bulatov Readings. – 2025. – Vol. 1. – P. 150–153.