



*On concrete examples it is shown that application of technologies and materials for cold hardening enables to reduce financial and time costs during repair work.*

В. И. СКОРЫНИН, ООО «ПСВ – ВОРОНЕЖ»

УДК 621.74

## ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ХОЛОДНОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ БЕЛЬЗОНА

Ремонтные службы металлургических предприятий часто сталкиваются с проблемой механического, коррозионного, абразивного износа технологического оборудования, устранение возникших дефектов которого традиционными способами невозможно, а замена требует значительных финансовых затрат.

Новые возможности при производстве ремонтно-восстановительных работ открывают технологии с использованием композитных материалов холодного отверждения. Появилась возможность не только вернуть в строй множество машин и оборудования, но также обеспечить увеличение ресурса их работы. При этом экономия средств предприятий достигается за счет снижения затрат на закупку нового оборудования, уменьшения времени на ремонт и демонтаж/монтаж. Зачастую восстановленный объект приобретает новые качества, такие, как коррозионная и химическая стойкость, увеличение абразивостойкости и др. Работы выполняются на воздухе без нагревания и давления вне защитной среды, что позволяет проводить ремонты на месте поломки, без полного демонтажа оборудования, в непригодных помещениях, с высокой скоростью и необходимым качеством. Ремонтные композиты не содержат растворителей и не имеют усадки после отверждения.

В основе метода восстановления при помощи композитных материалов холодного отверждения лежит химическая реакция полимеризации. Базовыми компонентами в этих материалах являются полимеры. Ремонтные композиты холодного отверждения состоят из нескольких компонентов: базы и отвердителя, при смешивании которых в обычных условиях (без нагревания и повышения давления) происходит химическая реакция полимеризации. Смесь имеет небольшое время жизнеспособ-

ности, после чего застывает и уже не может менять форму и не способна прилипнуть к ремонтируемой поверхности. Отдельно компоненты могут храниться достаточно долго.

В процессе затвердевания смеси молекулы композита соединяются в макромолекулярные цепи, которые переплетаются с мелкодисперсными частицами наполнителя. В качестве наполнителя выступают частицы различных металлов (Fe, Ti, Zn, Mo и т. д.), керамики размером, соизмеримым с размерами образующихся в процессе полимеризации ячеек. Наполненность этих полимеров частицами составляет 93–96%. В результате затвердевания получается полимер с очень разветвленной структурой. Благодаря ряду специфических добавок этот полимер по многим свойствам приближается к металлам. Тем не менее, получаемый продукт не подвержен коррозии, стоек к широкому спектру химических веществ, имеет хорошую адгезию к любым металлам и сплавам, дереву, бетону, пластмассам, которая сохраняется после затвердевания смеси. Это позволяет восстанавливать детали практически из любых конструкционных материалов и соединять их между собой.

Ремонтные композиты имеют пастообразную или жидкую консистенцию. Пастообразные материалы могут наноситься слоями любой толщины и конфигурации и позволяют выполнять работы на вертикальных и потолочных поверхностях. Жидкие материалы текучи, что позволяет им создавать покрытия толщиной от 250 мкм и заполнять замкнутые объемы.

Начало этому методу было положено более 50 лет назад. В настоящее время на рынке ремонтных композитных материалов холодного отверждения в нашей стране представлено несколько марок зарубежных и российских материалов: Диамант,

Униреп (Германия), Дурметалл (Швейцария), Бельзона (Англия), Рокор (только защитные покрытия (Россия), Реком (Россия).

ООО «ПСВ–Воронеж» с 1998 г. занимается ремонтно-восстановительными работами на предприятиях различных отраслей с применением композитных материалов холодного отверждения. После опробования всех приведенных выше марок материалов мы остановились на применении материала фирмы «Бельзона», как одного из самых качественных, технологичных и недорогих.

Универсальность и эффективность ремонтов при помощи материалов холодного отверждения Бельзона позволяет устранять дефекты практически любого оборудования. Крупнейшие заводы и комбинаты решают ремонтные проблемы, особенно связанные с восстановлением крупногабаритного, дорогостоящего, уникального оборудования, с использованием технологий Бельзона.

Материалы Бельзона хорошо зарекомендовали себя при ремонте и защите деталей, машин и оборудования (табл. 1).

При этом решаются такие проблемы, как устранение механического, коррозионного, химического, кавитационного, абразивного износа; сколов, отверстий, вмятин, коррозионных язв, трещин, выработок, восстановление геометрии поверхности; устранение течей, герметизация различных объемов; дефектов литья; соединение деталей; нанесение коррозионностойких, химостойких, абразивостойких покрытий; ремонт и защита от воздействия окружающей среды корпусных изделий.

Для выполнения работ имеется большое количество материалов Бельзона применительно к различным условиям работы оборудования.

Среди материалов Бельзона можно выделить шесть групп:

- полимер-металлы;
- полимер-керамик-металлы;
- эластомеры;
- мембраны;
- магматериалы;
- вспомогательные материалы.

Полимер-металлы – это ремонтные материалы универсального применения. В своем составе они содержат большое количество частиц металлов. Предназначены для исправления поломок и износов деталей, восстановления геометрических форм и плоскостей, заделки трещин и герметизации оборудования всех видов из любых конструкционных материалов.

Полимер-металлы обладают хорошей коррозионной и химической стойкостью. После отверждения они могут легко подвергаться всем видам механической обработки. Это позволяет восстанавливать изношенные детали любой конфигурации и добиваться необходимой точности в размерах восстанавливаемых деталей.

Полимер-керамик-металлы – это материалы с высокой износостойкостью. В своем составе они содержат частицы керамики, используются в установках, работающих в жидких агрессивных средах, в условиях высокой абразивности. Это прежде всего насосы, компрессора, запорно-распределительная арматура, трубные доски теплообменников, лопасти гребных винтов, воронки, емкости и т. д.

Из-за высокой твердости керамик-металлы после отверждения могут подвергаться механической обработке только шлифовкой или особо прочными резцами.

Т а б л и ц а 1

Типовые детали и узлы	Характерные дефекты
Турбины, генераторы	Выработки в местах крепления лопастей, дефекты корпуса
Насосы, компрессора	Дефекты корпуса, рабочих колес, выработки посадочных мест под подшипники качения
Воздуходувки, дымососы	Дефекты корпуса, рабочих колес, лопастей, выработки посадочных мест под подшипники качения
Теплообменники	Дефекты трубных досок, корпусов
Редуктора	Выработка посадочных мест под подшипники качения, дефекты корпусов
Емкости	Защита от коррозии, заделка трещин и протечек, устранение негерметичностей швов
Трубопроводы	Защита от коррозии, заделка трещин и протечек, устранение негерметичностей швов, восстановление герметичности фланцевых соединений
Посадочные места под подшипники	Устранение износа
Разъемные соединения: фланцевые шпоночные шлицевые резьбовые	Коррозионный износ рабочей плоскости Смятие кромок шпоночной канавки Выработка металла шлицев Срыв резьбы
Неразъемные соединения	Соединения деталей конструкций

Эластомеры – резиноподобные материалы, для отверждения которых не требуется вулканизация. Они применяются при ремонте всех видов резинотехнических изделий, а также для изготовления новых путем отливки в формы. Специального оборудования не требуется.

Мембраны – защитные покрытия для любых поверхностей. Прекрасно подходят для покрытия парапетов стен, глазурованных плиток, стыков, швов декоративной отделки, площадей плоских крыш, сложных крыш и куполов.

Барьерные покрытия – защитные покрытия оборудования и строительных сооружений от различных воздействий. Имеют превосходную адгезию, стойкость к коррозии и агрессивным веществам.

Магматериалы – исключительно химостойкие ремонтные материалы. Предназначены для ремонта и восстановления бетона и камня и как покрытие для металлов, бетона, стекла, пластмасс, противостоящее химически агрессивным средам.

При выборе композитных материалов мы учитываем не только применимость конкретного материала в конкретных условиях использования, но и насколько этот материал экономически эффективен и опробирован нами в данных работах

Физико-механические свойства и характеристики наиболее используемых материалов Бельзона приведены в табл. 2.

Композитные материалы холодного отверждения, в том числе и Бельзона, применяли для ремонта на многих металлургических комбинатах. Мы провели ряд успешных работ материалами Бельзона на ОАО «Оскольский Электрометаллургический комбинат» (Белгородская область г. Старый Оскол).

За время работы на ОАО «ОЭМК» (с марта 2001 г.) ООО «ПСВ-Воронеж» выполнило ремонт следующего оборудования:

- Восстановительный ремонт изношенных корпусных частей и роторов компрессоров технологического газа, инертного газа I и II ступени (рис. 1, 2).
- Восстановление корпуса вакуум-насоса.
- Защита всасывающих головок вакуум-фильтра.
- Восстановление рабочих колес насосов (рис. 3).
- Восстановительный ремонт изношенных частей дымососа ДН-26 (лопатки – антиадгезионное и абразивостойкое покрытие, посадочные места на роторе).
- Устранение протечек по сквозным отверстиям емкости для хранения хлорного железа, посадочных мест под подшипники качения на роторах компрессоров.
- Восстановление посадочного места клапана насоса гидросбива окалины, посадочных мест под

подшипники скольжения ротора турбокомпрессора инертного газа (13000 об/мин).

Проведение этих работ позволило отказаться от дорогостоящей закупки нового оборудования, продлив ресурс работы отремонтированного. Кроме того, получаемые после ремонта покрытия не подвергаются коррозии, абразивостойки и устойчивы к атакам многих агрессивных веществ.

Материалы Бельзона прекрасно показали себя при восстановлении корпусных деталей и роторов компрессоров инертного и технологического газов. Отремонтированные нами компрессора взяты в ремонт после того, как были признаны непригодными для эксплуатации. Альтернативные методы восстановления компрессоров отсутствуют. Восстановленные компрессора не подвергаются коррозии и устойчивы к абразивному износу.

В мае 2003 г. после одного года работы был демонтирован и осмотрен компрессор инертного газа I ступени. В результате было установлено, что корпус и ротора компрессора значительных повреждений не имеют. Отремонтированные и установленные также один год назад компрессора технологического и инертного газа II ступени находятся в дальнейшей эксплуатации и нареканий к работе не имеют. Стоимость ремонтно-восстановительных работ составляет: для компрессора технологического газа – 4% от цены новых корпусных деталей и роторов; для компрессора инертного газа I ступени – 3% от цены новых корпусных деталей и роторов; для компрессора инертного газа II ступени технологического газа – 2,5% от цены новых корпусных деталей и роторов.

В январе и марте 2003 г. были также запущены в работу компрессора технологического и инертного газа I ступени, восстановленные материалами фирмы «Бельзона».

Применение технологий Бельзона позволило уменьшить затраты на покупку распределительных головок дискового вакуум-фильтра за счет увеличения срока их работы, снизить объем монтажных и демонтажных работ. Ресурс работы одной головки до покрытия материалами Бельзона составлял 3 мес., кроме того, приходилось в среднем один раз в неделю проводить ремонт головок сваркой. Покрытая материалами Бельзона головка отработала на сегодняшний день один год, т. е. увеличился ресурс работы в 4 раза. Экономическая эффективность от применения композитных материалов Бельзона составляет 40% от затрат на покупку комплекта головок для обеспечения бесперебойной работы одной позиции фильтров в течение одного года (без учета затрат на монтажно-демонтажные работы). Кроме того,

Т а б л и ц а 2

Наименование технических характеристик	Перечень материалов Бельзона								
	1111	1131	1311	1321	1341	1391	1591	4301	4311
Вид после смешивания <sup>1</sup>	П	П	П	Ж	Ж	Ж			
Время:									
рабочего состояния <sup>2</sup> , мин	20	20	20	20	30	35	65		
минимальная выдержка без нагрузки, ч	1,75	1,75	1,75	4	8	3,5	8		
минимальная выдержка до механической обработки и легкой нагрузки <sup>3</sup> , ч	2	2	2	6	16	4,5	12		
необходимая нагрузка до полной механической и термической нагрузки <sup>3</sup> , ч	24	24	24	36	72	60	72		
необходимая нагрузка до химического воздействия <sup>3</sup> , ч	48	48	48	48	168	96	120		
Плотность после смешивания, г/см <sup>3</sup>	2,4	2,1	2,4	2,3	1,43	2,3	1,85		
Предел прочности на сжатие ASTM D695, МПа:									
полимеризация при 20 °С	91	77	91	91	49	80		100	100
постполимеризация	105	—	—	—	60	101	45		
Прочность на изгиб по ASTM D790, МПа:									
полимеризация при 20 °С	63	54	70	70	42	60			91
постполимеризация	91	—	—	—	45	60	20		
Ударная прочность, Дж/м <sup>2</sup> , по ASTM D256, поверхность не нарушена при воздействии:									
полимеризация при 20 °С	70	24,5	50	50	54	46		14	14
постполимеризация	90	—	—	—	62	61			
Твердость по:									
ASTM D2240 (Шору) SH	89	87	—	80	89	87			
ASTM D785 (Роквеллу) R			104						
Тепловая стойкость, °С по:									
сухому	200	232	220	200	150	200	Не используется	200	200
мокрому	95	100	80	60	60	130	185	80	60
Адгезия на отрыв по ASTM D1002, МПа:									
мягкая сталь	19	20	19	20,4	21	22,5	13		
алюминий	13				11	12,6		17	17
латунь	12		16	15,5					
медь	13		15	15,5	15,5	16		18	18
нержавеющая сталь	20		21	21	20	20		20	20
Абразивная стойкость, мм <sup>3</sup> , потеря на 1000 циклов. Устойчивость к Табер-абразиву при нагрузке 1 кг:									
H10 круги (влажное)	889	994	129	172	52	39	155		
CS17 круги (сухое)	56	95	48	55	6				

<sup>1</sup> П – паста; Ж – жидкость.

<sup>2</sup> Температура окружающей среды 20 °С, с ростом температуры время рабочего состояния уменьшается.

<sup>3</sup> Отверждение при 20 °С и толщине 6 мм. Время отверждения снижается при увеличении температуры и толщины слоя.

выведенная из эксплуатации распределительная головка ремонтпригодна и после повторного восстановления материалами Бельзона может вновь использоваться без уменьшения срока эксплуатации.

Благодаря композитным материалам Бельзона удалось отремонтировать сильно изношенные коррозией, абразивом и кавитацией рабочие колеса насосов подачи воды на вакуум-фильтры. Работы были проведены в октябре 2001 г. и в мае 2002 г. В мае 2003 г. эти насосы были вскрыты для осмотра

рабочих колес. В результате осмотра рабочие колеса были признаны пригодными к дальнейшей эксплуатации. Отремонтированные колеса отработали в 3 раза дольше новых.

Материалами Бельзона были обработаны изношенные лопатки рабочего колеса дымососа ДН-26, что позволило отказаться от закупки нового. Отремонтированное колесо отработало срок работы нового колеса. У нас имеется возможность увеличения срока эксплуатации этого колеса как минимум в 2 раза. Кроме того, при восстановлении колеса



Рис. 1. Восстановленный узел компрессора (2-я ступень) ОАО «ОЭМК»: а – до восстановления; б – после восстановления



Рис. 2. Восстановленный узел компрессора (боковина) ОАО «ОЭМК»: а – до восстановления; б – после восстановления

дымососа ДН-26 полученное покрытие Бельзона позволило избежать такой проблемы, как налипание огарка на лопатки.

Нами отработана технология восстановления до номинальных размеров посадочных мест под подшипники качения. Как показывает опыт, эти работы очень эффективны. Стоимость таких работ незначительная по сравнению со стоимостью нового оборудования. Были также восстановлены до номинальных размеров посадочные места под подшипники скольжения ротора турбокомпрессора инертного газа (13000 об/мин), который уже отработал 4320 ч и работает дальше.

При помощи композитных материалов Бельзона был произведен аварийный ремонт емкости для хранения хлорного железа в зимних условиях. Емкость дала течь по множеству сквозных отверстий и стала непригодна к эксплуатации.

При помощи материалов холодного отверждения Бельзона проведены ремонтные работы аналогичного оборудования на многих предприятиях различных отраслей.

Весьма эффективно восстановление при помощи композитных материалов Бельзона насосного оборудования (это прежде всего восстановление геометрии поверхности корпусов, рабочих колес, лабиринтовых колец, фланцевых поверхностей, сальниковых камер, восстановление до номинальных размеров посадочных мест под подшипники качения в корпусе и на валах, восстановление посадочных мест под лабиринтовые кольца, нанесение коррозионностойких покрытий). Большой ком-

плекс работ по восстановлению этого вида оборудования с применением материалов Бельзона проведен на МП «Воронежтеплосеть». Насосы были сильно изношены и прокорродированные рабочие колеса имели сколы. Это дало возможность получить финансовую выгоду за счет проведения ремонтов (альтернативные методы восстановления не применялись), предотвратить коррозию корпусов. Суммарный экономический эффект от применения материалов Бельзона холодного отверждения составил более 6 млн. руб.

На воронежских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 проведены работы по устранению послабления посадочных мест под подшипники качения в корпусах насосов. Работы были выполнены на месте без последующей механической обработки. Посадочное место формировалось при помощи фальшь-вала.

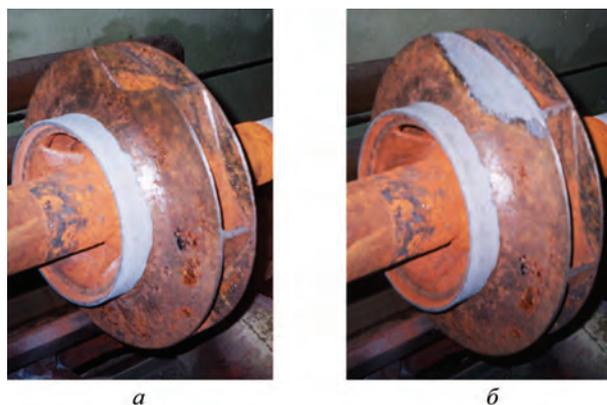


Рис. 3. Восстановленный узел насоса (крыльчатка) ОАО «ОЭМК»: а – до восстановления; б – после восстановления

Кроме того, можно проводить ремонты и другого энергетического оборудования, в том числе теплообменников, запорной аппаратуры, устранять дефекты труб, емкостей и т. д.

Материалы Бельзона хорошо показали себя при ремонте емкостей. Так, достигается положительный эффект при устранении течей, герметизации швов, ремонте опор, крышек, нанесении антикоррозионного покрытия. Работы осуществляются без демонтажа емкостей. Применение технологии и материалов Бельзона позволяет выполнять работы значительно быстрее в отличие от традиционных методов и с меньшими затратами, кроме того, емкость приобретает такое полезное свойство, как отсутствие выделений на стенках. Наиболее используемые материалы Бельзона имеют гигиенический сертификат (подобные работы были проведены на ОАО «Хлебозавод № 7», г. Воронеж). Материалы Бельзона достаточно устойчивы к широкому перечню агрессивных химических веществ и защищают емкость от коррозии (ОАО «Воронежсинтезкаучук», ОАО «Химпром», г. Новочебоксарск).

Практически те же проблемы можно решать при ремонте трубопроводов. Существуют материалы Бельзона, которые можно применять при контакте с влажной поверхностью. Это позволяет устранять течи без демонтажа труб, на месте поломки.

**Теплообменное оборудование** – это такое оборудование, которое по своей природе уже через несколько лет требует срочного ремонта. Особенно уязвимы и быстро изнашиваемы трубные доски кожухотрубчатых теплообменников. Коррозия, эрозия, кавитационный износ, вырывы, ослабление трубок – основные проблемы трубных досок. Следует отметить, что ремонт трубных досок традиционными методами не производится. Материалы Бельзона хорошо показали себя при таких типах ремонтов. Кроме того, что восстанавливается герметичность теплообменников, трубная доска приобретает ряд полезных качеств: устойчивость

к коррозии, покрытие меньше истирается увлекаемыми потоком твердыми частичками. Длительное обезжизивание аппарата не вызывает растрескивания и отслоения покрытия. Накипно-солевые отложения не образуют плотно сцепленной с поверхностью Бельзона корки и легко удаляются протиранием поверхности или промывкой, струей воды.

Ремонтные работы проводятся на месте и не требуют полного демонтажа оборудования. Кроме того, восстановленный теплообменник уже после 3–4 дней отверждения и последующей постполимеризации может эксплуатироваться в нормальном режиме.

Подобно трубным решеткам, восстанавливаются крышки и кожухи теплообменников.

Проведен ремонт 3 шт. испарителей ИТР-35 горизонтальный (среда: корпус – хладон-12, трубки – раствор хлористого кальция; температура –  $-30+40$  °С, коррозия трубных досок и крышек) на ОАО «Воронежшина».

На ГПУ Воронежский тепловозоремонтный завод им. Дзержинского (г. Воронеж) был проведен комплекс ремонтных работ по восстановлению герметичности трубных досок теплообменника компрессора ПК-5,25А (34 шт.). Разгерметизация трубного и межтрубного пространства произошла в местах вальцовки трубок. Везде материалы Бельзона зарекомендовали себя с лучшей стороны (рис. 4).

**Восстановление до номинальных размеров посадочных мест под подшипники качения.** Проведение данных видов работ требует особой точности в размерах. Некоторые из материалов Бельзона, например все полимер-металлы, легко поддаются механической обработке, что позволяет после нанесения проточить посадочные места в размер.

Для восстановления посадочных мест в чугунном корпусе редуктора соледобывающего комбайна на ЛМЗ «Универсал» (Беларусь) применялся Бельзона 1111. Износ посадочных мест составил до 0,6 мм. После восстановления посадочные места проточили в размер.

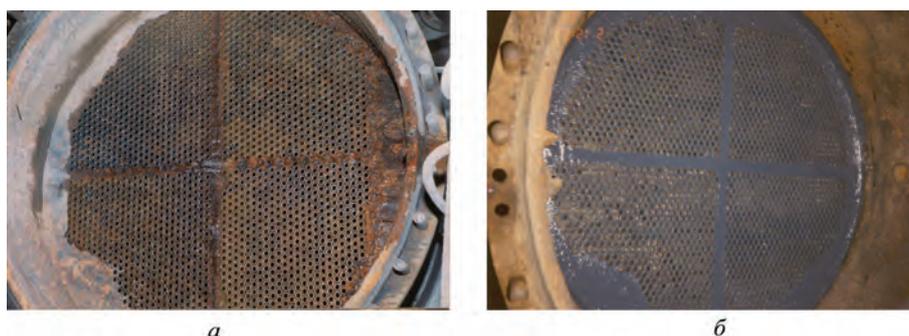


Рис. 4. Восстановленный узел теплообменника на ГПУ «ВТРЗ»: а – до восстановления; б – после восстановления



Рис. 5. Восстановленный узел бойлера на ФГУП «ВМЗ»: а – до восстановления; б – после восстановления

На ГП «ВТРЗ им. Дзержинского» проведен комплекс работ по восстановлению посадочных мест чугунных подшипников щитов электродвигателей тепловозов 2П2К снаружи и внутри с соответствующей механической обработкой. Экономическая эффективность от применения материалов Бельзона при производстве этих работ, по подсчетам специалистов предприятия, составила 415 тыс. руб. Кроме того, применение материалов Бельзона позволило сократить время ремонта.

Применение материалов Бельзона дает возможность проводить уникальные работы – устранять износ без последующей расточки посадочных мест (с применением фальш-вала или же если на восстанавливаемой поверхности имеется участок с номинальными размерами). При этом достигаются все необходимые допуски при посадке.

Без последующего доведения в размер, с соблюдением чертежных размеров на ОАО «ВОЛ-ТАЙР» (г. Волжский) были восстановлены посадочные места под подшипники качения в редукторе РСВД № 701740. Из-за больших размеров редуктора (диаметр посадочных мест 300–460 мм) провести последующую механическую обработку было крайне сложно. Посадочные места формировались непосредственно подшипниками. В качестве поверхности с номинальным размером выступала поверхность захода крышки посадочных мест подшипников, не подвергавшаяся износу. При этом были достигнуты допуски при посадке.

**Устранение дефектов литья.** При литье деталей могут образовываться различные сколы, поры, раковины, сквозные отверстия. Материалы Бельзона позволяют устранять эти дефекты без

переплавки. Восстановленные детали обеспечивают необходимые режимы герметичности. Подобные работы были проведены на ГУП «Волгоградский литейно-механический завод», АО «Харьковский машиностроительный завод «Свет шахтера». На ФГУП «ВМЗ» выполнен комплекс работ по устранению дефектов литья и защите деталей хлорных компрессоров (рис. 5).

Таким образом, применение технологий и материалов холодного отверждения позволяют снизить финансовые и временные затраты при проведении ремонтных работ. Благодаря свойствам материалов ремонтные технологии Бельзона **Повышают качество ремонта** (отвечают жестким эксплуатационным требованиям; не влияют на свойства основных материалов; обеспечивают идеальную защиту от коррозии, кавитации, абразивного износа; улучшают рабочие характеристики поверхностей). **Снижают затраты времени** (не требуют полного демонтажа; технологичны – позволяют быстро провести ремонт прямо на месте). **Увеличивают сроки эксплуатации** (обеспечивают постоянную ремонтпригодность; качественно улучшают защиту от агрессивных сред; соответствуют всем требованиям надежности). **Снижают расходы на замену оборудования** (решают задачи, недоступные обычным видам ремонтов; экономически выгодны). **Повышают безопасность производства** (работы проводятся без нагревания, давления, вне защитной среды; мгновенно решают аварийные проблемы; эффективно работают против протечек, прорывов в трубах, емкостях; не содержат растворителей).