

**Методы неразрушающего контроля железобетонных конструкций  
в зданиях нефтегазового комплекса.  
Methods of non-destructive testing of reinforced concrete structures oil and gas  
in buildings**

**Лысенко С. В.<sup>1</sup>, Тен Э. В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Лысенко Сергей Владимирович / Lysenko Sergej Vladimirovich - эксперт по промышленной безопасности;

<sup>2</sup>Тен Эдуард Владимирович / Ten Jeduard Vladimirovich - эксперт по промышленной безопасности,  
ООО «Югорское отделение экспертизы», г. Нижневартовск

**Аннотация:** значительная часть промышленных предприятий в России была построена в середине двадцатого столетия. Срок же эксплуатации производственных зданий ограничен нормативными сроками эксплуатации. Здания и сооружения нефтегазового комплекса не являются исключением. Исходя из этого, актуальным становится вопрос о проведении экспертизы промышленной безопасности зданий нефтегазового комплекса и возможности продления срока их эксплуатации. Методы неразрушающего контроля железобетонных конструкций в зданиях нефтегазового комплекса позволяют прогнозировать сроки безопасной эксплуатации сооружений.

**Abstract:** a large part of the industrial enterprises in Russia were built in the mid-twentieth century. Term of operation of industrial buildings is limited to the standard terms of use. Buildings and facilities of oil and gas industry is no exception. Based on this, the question becomes relevant for examination of industrial safety of oil and gas and the possibility of extending their useful life. Methods of non-destructive testing of reinforced concrete structures in buildings, oil and gas industry, possible to predict the safe operation of facilities.

**Ключевые слова:** здания и сооружения нефтегазового комплекса, безопасная эксплуатация, прогнозирование остаточного ресурса, экспертиза промышленной безопасности, железобетонные конструкции, контроль неразрушающий.

**Keywords:** buildings and oil and gas facilities, safe operation, forecasting residual resource, expertise of industrial safety, reinforced concrete structures, non-destructive control.

Значительная часть промышленных предприятий в России была построена в середине двадцатого столетия. Срок же эксплуатации производственных зданий ограничен нормативными сроками эксплуатации. Поэтому можно утверждать о том, что здания многих крупных промышленных предприятий в Российской Федерации отработали сроки эксплуатации. Здания и сооружения нефтегазового комплекса не являются исключением. Исходя из этого, актуальным становится вопрос о проведении экспертизы промышленной безопасности зданий нефтегазового комплекса и возможности продления срока их эксплуатации.

Здания и сооружения нефтегазового комплекса в процессе эксплуатации подвергаются различным негативным воздействиям, которые приводят к разрушениям конструкций.

Для анализа состояния зданий производственного назначения необходимо знать основные причины возникновения дефектов в конструкциях. Эти причины представлены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1. Причины разрушения фундаментов промышленных зданий нефтегазового комплекса

Разрушение	Возможные причины
Осадка фундамента	1. Высокий уровень подземных вод. 2. Подтопление (это приводит к постоянному затоплению подвалов и к необходимости откачки воды). 3. Суффозия грунта при постоянных откачках воды. 4. Динамическое воздействие на фундамент от работы машин, нагрузка от складирования. 5. Температурные воздействия

Таблица 2

Причины разрушений стен и металлоконструкций промышленных зданий нефтегазового комплекса

Элемент	Разрушения и их возможные причины
Стены кирпичной кладкой	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Трещины в стенах.</li> <li>2) Перегрузки.</li> <li>3) Неравномерные осадки фундаментов.</li> <li>4) Недостаточная прочность кирпича.</li> <li>5) Воздействие непредусмотренных расчетом динамических нагрузок.</li> <li>6) Низкое качество кладки (плохое заполнение швов раствором, искривление кладки, отсутствие необходимой перевязки, отсутствие связи стен между собой и с перекрытиями; недостаточная длина опирания балок и плит на стены или столбы, трещиноватость кирпича).</li> <li>7) Снижение прочности кладки вследствие замачивания.</li> <li>8) Включение в кладку элементов другой жесткости (перемычек, балок, поясов).</li> <li>7) Температурные и усадочные деформации.</li> <li>9) Отсутствие распределительных подушек под опорными концами несущих конструкций перекрытий или покрытий.</li> <li>10) Пробивка борозд или отверстий.</li> <li>11) Появление дополнительных изгибающих моментов.</li> <li>12) Протечки санитарно-технических систем, кровли, карнизов, водосточных труб.</li> <li>13) Усадочные деформации стен и покрытий.</li> <li>14) Попеременное замораживание и оттаивание кладки</li> </ol>
Железобетонные конструкции	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Трещины:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1) дефекты при изготовлении (отклонение геометрических размеров от проектных, несоблюдение толщины защитного слоя, несоответствие марок и класса бетона, некачественная установка закладных деталей, отклонение конструкции от проектного положения, наличие сколов, трещин и каверн в бетоне, некачественное выполнение узлов сопряжений, неправильное распалубирование);</li> <li>1.2) дефекты армирования;</li> <li>1.3) чрезмерные натяжения арматуры.</li> </ol> </li> <li>2. <b>Коррозия:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1) в результате воздействия жидких сред;</li> <li>2.2) в результате химических реакций между компонентами цементного камня и раствора;</li> <li>2.3) в результате кристаллизации малорастворимых продуктов химических реакций (как следствие - развивающееся внутреннее напряжение бетона).</li> </ol> </li> <li>3. <b>Искривление и погнутоги элементов.</b></li> </ol>
Металлические конструкции	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Искривление элементов.</li> <li>2) Общие и местные прогибы.</li> <li>3) Отклонение ферм по вертикали.</li> <li>4) Расстройство болтовых соединений.</li> <li>5) Прогибы фасонки.</li> <li>6) Трещины в основном материале, сварных швах и в стойках</li> </ol>

Таблица 3. Разрушение кровли

Элемент	Разрушения и их возможные причины
Кровля	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Разрушение бетонной стяжки.</li> <li>2) Разрушение утеплителя.</li> <li>3) Разрушение пароизоляции.</li> </ol> <p>Причины: температурно-влажностной режим; низкая эксплуатационная надежность проектного решения</p>

Мы видим, что множество причин ведут к появлению дефектов в конструкциях промышленных зданий нефтегазового комплекса. Как выявить их появление на начальном этапе и оценить степень исходящей от них опасности? На этот вопрос мы сможем ответить, если при проведении экспертизы промышленной безопасности зданий будем комплексно применять методы неразрушающего контроля

железобетонных конструкций, которые при строительстве различных объектов остаются наиболее распространенным видом конструкций.

Качественные характеристики бетонных и железобетонных конструкций в большой степени зависят от прочности и однородности бетона, расположения арматуры, а также напряжений в арматуре. Эти характеристики можно измерить различными способами.

Например, прочность бетона определяется стандартными методами, путем изготовления и испытания образцов [1]. Но достоверность по данным прочности и однородности стандартных образцов может быть неполной по следующим причинам: объем испытания стандартных образцов не превышает 0,01 % от объема железобетонной конструкции, условия формования и режимы доработки изделий различны, стандартными методами сложно определить однородность бетона в конструкции и прочность в целом. Указанные издержки стандартной методики испытания прочности бетона дали развитие неразрушающим методам контроля.

Неразрушающий контроль прочности бетона позволяет своевременно влиять на технологию производства конструкций, вовремя изменять состав и режимы доработки бетона. При неразрушающем контроле прочности бетона используются приборы, основанные на методах местных разрушений (отрыв со скалыванием, скалывание ребра, отрыв стальных дисков), ударного воздействия на бетон (ударный импульс, упругий отскок, пластическая деформация) и ультразвуковой диагностики.

Опыт ведущих специалистов по неразрушающему контролю прочности бетона показывает, что в их базовый комплект должны входить приборы, основанные на разных методах контроля: отрыв со скалыванием (скалывание ребра), ударный импульс (упругий отскок, пластическая деформация), ультразвук, а также измерители защитного слоя и влажности бетона, оборудование для отбора образцов из конструкции.

Проводя обследование монолитных конструкций и больших массивов бетона, необходимо сочетать применение ударно-импульсных и ультразвуковых приборов с испытаниями бетона методами отрыва со скалыванием, скалывания ребра [2] или отбора образцов и кернов [3].

Основные работы по неразрушающему контролю прочности бетона выполняются с помощью высокопроизводительных приборов после их предварительной настройки. Выбирая методы неразрушающего контроля и приборы для качественной оценки бетона, мы должны знать их характеристики. Важно отметить, что в современной России активно ведется совершенствование и разработка приборов неразрушающего контроля, в которых применяется электроника. Приборы, основанные на методах местных разрушений, больше применяются при обследовании конструкций зданий и сооружений. Трудоемкость этих методов обусловлена необходимостью определения глубины залегания арматуры. Наиболее разрушительным для бетонных конструкций является воздействие агрессивных факторов: химических (соли, кислоты, масла и др.), термических (высокие температуры, замораживание в раннем возрасте, либо переменное замораживание и оттаивание в водонасыщенном состоянии), атмосферных (карбонизация поверхностного слоя). Эти факторы воздействуют сильнее на поверхностные слои бетона, в связи с чем при обследовании необходимо визуально, простукиванием, либо смачиванием специальными растворами (случаи карбонизации бетона) выявить поверхностный слой с нарушенной структурой. Поэтому, чтобы эффективно диагностировать состояние поверхностных слоев железобетонных конструкций, целесообразно использовать продукцию, имеющую в своем арсенале высокочувствительные приборы (влажмеры бетона ВИМС-2.1; влажмеры строительных материалов универсальные ВИМС-2.2; термогигрометры ТЕМП-3.2; измерители морозостойкости бетонов «БЕТОН-ФРОСТ», измерители проницаемости бетонов и материалов ВИП-1). Подготовка бетона в таких случаях, для испытаний неразрушающими методами заключается в удалении поверхностного слоя на участке контроля и зачистке поверхности наждачным камнем.

Также, прочность железобетонных конструкций в подобных случаях можно определять приборами, основанными на методах местных разрушений, либо путем отбора образцов. При использовании же ударно-импульсных и ультразвуковых приборов контролируемая поверхность должна иметь шероховатость не более Ra 25, а градуировочные характеристики приборов уточнены.

Специалист должен знать, что базовая либо типовая градуировочная зависимость, с которой может поставляться прибор, с достаточной степенью точности воспроизводит прочность бетона того вида, на котором прибор калибровался. Поэтому изменение вида заполнителя, влажности, возраста бетона и условий его твердения приводит к увеличению погрешности измерений. Для ультразвуковых приборов перечень факторов, влияющих на точность измерений, еще шире.

Некоторые производители, совершенствуя свои приборы неразрушающего контроля, убрали такой недостаток, как привязка прибора к калиброванию. Например, ультразвуковой прибор для контроля прочности позволяет производить контроль прочности бетонов неизвестного состава по характеристикам ЦНИИОМТП. Имеет функцию определения глубины трещин при поверхностном прозвучивании.

Испытания методом отрыва со скалыванием должны производиться в соответствии с рекомендациями [2] и «Определение прочности бетона в конструкциях и изделиях методом вырыва анкера» (МИ2016-03) НИИЖБ-ГП ВНИИФТРИ 2003.

Известны приборы ОНИКС-2.5, ОНИКС-2.6, предназначенные для оперативного измерения прочности и однородности бетона методом ударного импульса [2]. Прибор ОНИКС-ОС позволяет измерить прочность бетона методом вырыва анкера (отрыва со скалыванием) и методом отрыва стальных дисков [2] на объектах строительства и при обследовании зданий, сооружений и конструкций. Хорошо зарекомендовал себя измеритель прочности методом скола ребра ОНИКС-1.СР. Его часто используют в случаях, когда метод вырыва анкера не работает из-за наличия в бетоне арматуры, в то же время есть открытый угол бетонного изделия (например, балка, колонна).

Приборы разработаны на новейших принципах измерений с использованием суперсовременной элементной базы. Большинство приборов внесены в Государственные реестры средств измерений России, Украины, Беларуси, Казахстана и защищены патентами. Многие приборы уникальны по своим параметрам. Приборы отличаются высокой точностью, малыми габаритами, эргономичностью, экономичным аккумуляторным питанием, оснащаются легкими и удобными датчиками оригинальных конструкций, выпускаются в нескольких модификациях с большим набором опций. Гарантия на основные виды продукции составляет 1,5 года. Гарантируется обслуживание приборов на весь период эксплуатации.

Приборы МИП-25; МИП-50 (прессы) - позволяют оперативно испытать бетон и другие строительные материалы (выбуренные керны  $\varnothing 70...100$  мм) при обследовании конструкций и сооружений. Динамометр ДИН-1 предназначен для измерения и регистрации динамических и статических сил сжатия и растяжения в различных приложениях.

Точность натяжения арматуры является одним из основных факторов, определяющих жесткость и трещиностойкость предварительно напряженных конструкций и в конечном счете их долговечность и эксплуатационную пригодность. Обеспечение проектного усилия обжатия бетона достигается контролем силы натяжения арматуры преимущественно приборами, основанными на частотном методе и методе поперечной оттяжки [4].

Широкое применение на предприятиях сборного железобетона получили приборы контроля армирования бетона: измеритель защитного слоя и диаметра арматуры ПОИСК-2.5, ПОИСК-2.6; анализатор коррозии арматуры в бетоне АРМКОР-1; измеритель предварительных напряжений в арматуре ИНК-2.4; измеритель силы натяжения арматуры и канатов ДИАР-1.

Данные приборы предназначены для оперативного контроля качества армирования железобетонных изделий и конструкций следующими методами: 1) импульсной индукции; 2) методом анализа потенциала микрогальванической пары; 3) частотным методом; 4) методом поперечной оттяжки. Используются приборы при обследовании зданий и сооружений, при технологическом контроле на предприятиях и стройках для локализации участков залегания арматуры и для исключения ошибок при измерениях прочности бетона различными методами (ультразвуковым, ударно-импульсным, отрывом со скалыванием и скола ребра). В приборах реализован метод импульсной индукции, что обеспечивает: одновременное определение толщины защитного слоя бетона и неизвестного диаметра арматуры без использования эталона-прокладки, позволяя обследовать конструкции перед восстановлением защитного слоя бетона с максимальной точностью и высокой скоростью даже при отсутствии на них технической документации; проведение достоверных измерений на участках конструкций с густым армированием (при минимальном шаге расположения арматуры) [5]. Сочетание визуализации положения арматурного стержня на дисплее прибора, светового индикатора арматуры на датчике и тонального акустического сигнала даёт максимально удобный интерфейс работы для проведения измерений в режиме реального времени. Высококонтрастный цветной TFT дисплей с большими углами обзора, разрешением 320x240 позволяет работать при температурах до  $-20$  °С. Система меню с кнопками быстрого доступа повышают скорость и удобство работы с прибором. Малое потребление и встроенный литиевый аккумулятор гарантируют длительный период автономной работы прибора, а зарядное устройство обеспечивает его быструю зарядку.

Важно отметить, что эффективными и перспективными неразрушающими методами являются вибрационные, которые широко используются в машиностроении. Однако в строительстве эти методы практически не применяются. Считаем новаторскими достижения отечественного производства в области создания и применения виброизмерительных приборов, позволяющих диагностировать сооружения, мосты и фундаменты зданий. Эти приборы представлены следующим рядом: 1) одноканальные виброанализаторы ВИБРАН-2; 2) четырёхканальные виброанализаторы ВИБРАН-3; 3) виброметры для виброплощадок и общепромышленные ВИСТ-2.4; 4) виброметры общепромышленные ВИСТ-3; 5) измеритель частот собственных колебаний ИЧСК-2.

Таким образом, используя весь набор технических достижений в области неразрушающего контроля железобетонных конструкций и зданий, мы можем с уверенностью прогнозировать сроки безопасной эксплуатации зданий нефтегазового комплекса.

#### *Литература*

1. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. ГОСТ от 27 декабря 2012 года № 10180-2012.
2. ГОСТ 22690 Бетоны. Определение прочности бетона методами неразрушающего контроля.
3. ГОСТ 28570 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкции.
4. ГОСТ 22362 Конструкции железобетонные. Методы измерения силы натяжения арматуры.
5. *Снежков Д. Ю.* Неразрушающий контроль прочности бетона конструкций сегодня: практический аспект / Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович // Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства: сборник Международных научно-технических статей (материалы научно-методической конференции), 27–28 мая 2014 г. В 2 ч. Ч. 1 / ред. колл.: В. Ф. Зверев, С. М. Коледа, С. Н. Делендик. – Минск: БНТУ, 2015. – С. 145-157.