

СПб., 2008. – 35 с.

11. Организация и планирование строительного производства / А. К. Шрейбер, Л. И. Абрамов, А. А. Гусаков и др.; под ред. А. К. Шрейбера. – М. : Высш. шк., 1987. – 368 с.

12. **Покропивный С. Ф.** Экономика предприятия: учебник / Под общ. ред. С. Ф. Покропивного. – К. : КНЭУ, 2002. – 608 с.

13. Системно-управлінські та інжинірингові засади впровадження інновацій в організацію будівництва : моногр. / [С. А. Ушацький, В. О. Поколенко, О. А. Тугай та ін.]. – К. : Вид-во Європейського ун-ту, 2003. – 216 с.

14. **Тарасюк Г. М.** Планування діяльності підприємства / Г. М. Тарасюк, Л. І. Шваб. – К. : Каравела, 2005. – 312 с.

15. **Тян Р.Б.** Планирование и контроль деятельности предприятия / Р. Б. Тянь, В. А. Ткаченко. – Д. : Наука и образование, 2003. – 300 с.

УДК 621.317

### РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ АЭС

*И. В. Рыжков, к. т. н., доц., Е. А. Пономарева, асс., Е. А. Бауск, зав. лабораторией исследования атомных и тепловых электростанций*

**Ключевые слова:** мониторинг, АЭС, безопасность, крен здания, реакторное отделение

**Постановка проблемы.** После событий на японской станции «Фукусима-1» безопасности атомной энергетики много внимания уделяют все страны мира, которые имеют атомные станции. В Украине безопасность и стабильность эксплуатации АЭС стала краеугольным камнем еще после Чернобыльской аварии. Но в последнее время был разработан и воплощен в жизнь ряд мер, которые должны предотвратить любые аварии в украинской атомной энергетике. Работами в данной области занимается и лаборатория исследования атомных и тепловых электростанций ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», которая совместно с Приднепровским научно-образовательным институтом инновационных технологий в строительстве провела анализ безопасности стабилизации (ликвидации) крена здания реакторного отделения энергоблока № 3 и уклона фланца главного разъема реактора Запорожской АЭС.

**Цель статьи** – разработать методику мониторинга крена здания реакторного отделения АЭС, которая позволит получать полную информацию о техническом состоянии элементов, конструкций и здания в целом, началах изменения состояния, деформационных и деградационных процессов, своевременное принятие соответствующих мер по поддержанию работоспособного состояния, оптимизировать планирование и ведение технического обслуживания и ремонта строительных конструкций, а также зданий и сооружений АЭС в целом.

**Анализ публикаций.** Неравномерные осадки грунтового основания здания реакторного отделения вызывают крен сооружения и самого реакторного аппарата. Особенностью ядерных реакторов является ограничение наклонов в период эксплуатации допустимыми значениями. По нормам проектирования оснований реакторных отделений атомных станций предельное значение совместной деформации основания и сооружения не должно превышать 0,001 (без учета сейсмических воздействий) с момента начала строительства. Деформации (т. е. средние осадки и общие крены) здания реакторных отделений атомных электростанций ввиду технологических особенностей производства электроэнергии ограничиваются проектом и нормами допустимыми значениями. При этом рассчитанные с использованием принятых в настоящее время нормативных документов средние осадки и крены реакторных отделений, как правило, существенно разнятся от наблюдаемых в натуре. Указанное связано, в первую очередь, с особенностями формирования сжимаемой зоны грунтового основания под большеразмерными в плане фундаментами. Имеющиеся исследования, в основном, ограничивались изучением сжимаемой зоны при послойных измерениях в основании жестких штампов площадью 1...2 м<sup>2</sup>. В процессе эксплуатации всех без исключения реакторных отделений происходит нарастание во времени их средних осадок и кренов, однако в нормативных документах нет достаточно четких расчетных схем, позволяющих определять

процессы нарастания кренов реакторных отделений во времени. Усугубляющим фактором является также изменение физико-механических характеристик грунтового основания РО в результате техногенного воздействия при эксплуатации [1 – 5].

**Основной материал.** Начиная с момента пуска энергоблока № 3 Запорожской АЭС в эксплуатацию, параллельно с наблюдениями за осадками обстройки РО-3 проводились измерения уклона фланца главного разъема реакторной установки. На рисунке 1 приведен характер нарастания уклона фланца по точкам.

Согласно отчету по контракту № 804/08624607/02049 (№ 22-11-1-10-1727) от 06. 10. 2010 г. «Определение допустимого наклона фланца главного разъема корпусов реакторов энергоблоков № 1; 3 ОП ЗАЭС. Этап 2. ОАО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», Москва, 2011 г., выполнен расчет с целью определения значения допустимого наклона корпуса реактора блока № 3 Запорожской АЭС, при котором обеспечивается штатная сборка (без применения компенсирующих мероприятий) ВКУ и ВБ с корпусом реактора в период эксплуатации реактора при проведении транспортно-технологических операций. Значение допустимого наклона корпуса реактора, полученное в расчете с использованием фактических данных, является уточненным фактическим значением допустимого наклона корпуса реактора блока № 3 Запорожской АЭС.

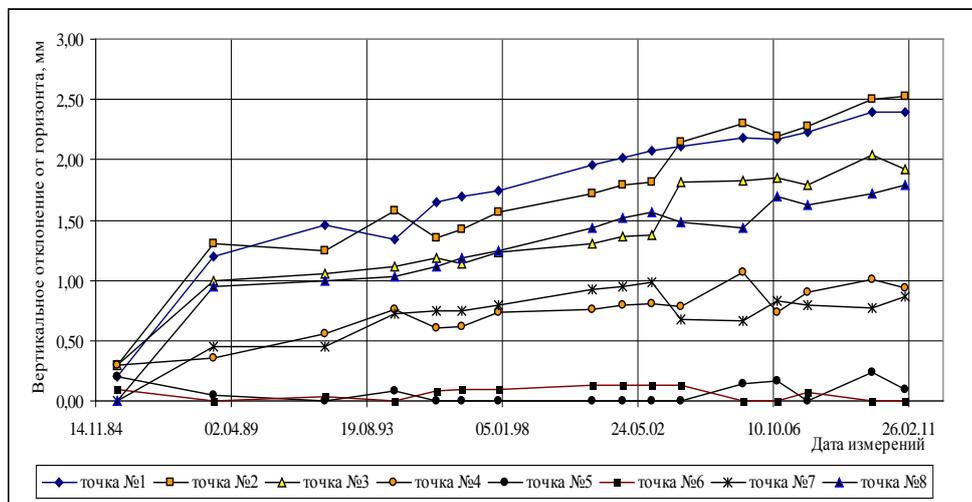


Рис. 1. Графики изменения измеренного значения фланца реактора энергоблока № 3

Для адекватной оценки результатов измерения значения уклона фланца главного разъема выполнена оценка достоверности результатов измерений. Необходимость оценки вызвана дисперсией результатов прямых измерений положения точек фланца реактора, что отражено графиками на рисунке 1. По результатам анализа графиков изменения фактических значений уклона выявлено, что нарастание имеет четкую закономерность (линию тренда) от увеличения скорости нарастания до ее уменьшения. Однако дисперсия результатов измерения (отклонения измеренного значения от линии тренда) достигает в отдельных циклах 0,15 мм на диаметр фланца.

Определение параметров положения осадочной плоскости и плоскости фланца реактора в различные циклы измерений выполнено методами статистического анализа.

Оценка влияния осадок и крена здания РО на положение реакторного аппарата энергоблока № 3 выполнена по результатам корреляционного анализа параметров осадочной плоскости РО-3 и плоскости фланца реактора. Для проведения сравнительного анализа была выполнена выборка результатов. На рисунке 2 отражена связь крена РО-3 и уклона фланца реактора в единой системе координат.

Математически отмеченная связь обосновывается коэффициентом корреляции Пирсона.

Коэффициент корреляции составляет  $R_{i,j} = 0,99$ , т. е. отклонение параметров плоскости фланца реактора от осадочной плоскости здания РО-3 составляет 1%. Таким образом, связь между параметрами абсолютно устойчивая. Эта связь используется для оценки влияния крена здания РО-3 на уклон фланца главного разъема реактора и обоснования принятых решений по стабилизации.

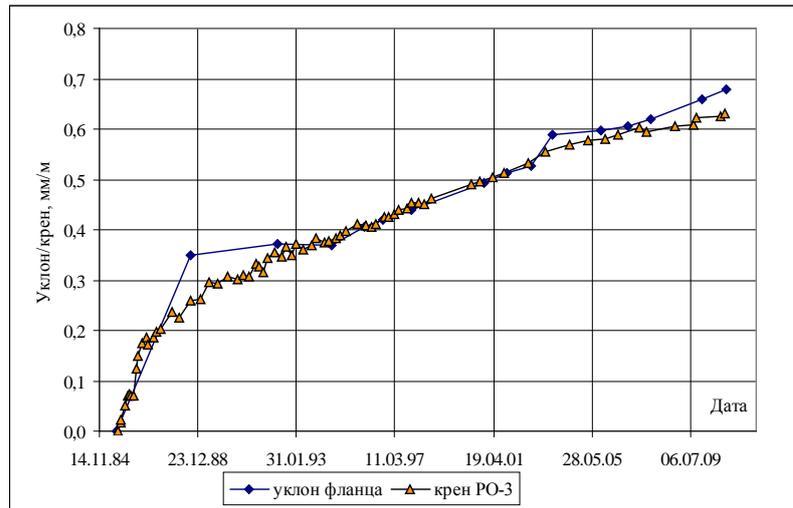


Рис. 2. Графіки розвитку крена РО-3 і уклону фланця головного різьма реактора з моменту початку вимірювань по фланцю (мм/м)

Сравнительный анализ полученных результатов измерений однозначно показывает, что крен фланца реактора в пределах достигнутой точности измерений повторяет крен реакторного отделения. Это соответствует случаю деформирования оснований абсолютно жестких сооружений. Накопленные результаты наблюдений позволяют с высокой степенью точности оценить положение разьема реакторной установки в любой момент времени без проведения непосредственных измерений на фланце.

Согласно действующим нормативным документам, на момент проектирования реакторных отделений Запорожской АЭС, в т. ч. энергоблока № 3, глубина сжимаемой толщи основания фундамента здания РО была принята в пределах 25...30 м. При этом в расчетную зону сжимаемой толщи попадали практически только плотные пески с высокими показателями модуля упругости. Как следствие, более подробные инженерно-геологические изыскания грунтов основания были проведены на глубинах 30...35 м. Однако по окончании строительства и в процессе эксплуатации было выявлено, что деформации грунтового основания здания реакторного отделения энергоблока № 3 Запорожской АЭС не стабилизировались и продолжались развиваться практически с постоянной скоростью.

Таким образом, на основании обобщения всех проведенных в различные годы инженерно-геологических и инженерно-геодезических изысканий и исследований в настоящий момент выявлены крены и продолжающиеся осадки реакторных сооружений 1-й очереди Запорожской АЭС (особенно РО-1, РО-3), которые вызваны комплексом причин как инженерно-геологического, так и общетехнического свойства.

Выявленное влияние крена реакторного отделения на положение фланца реакторного аппарата, вследствие неравномерных деформаций грунтового основания, позволило обосновать и разработать проект стабилизации крена здания реакторного отделения энергоблока № 3 ОП «Запорожская АЭС» в виде одностороннего железобетонного пригруза со стороны, противоположной крену здания РО-3. В результате воздействия дополнительного момента на грунтовое основание от железобетонного пригруза скорость развития крена здания РО-3 снизиться практически до нуля, что приведет к стабилизации значения уклону фланца главного разьема реактора на значении 2,52...2,60 мм на диаметр фланца, которая меньше допустимого значения согласно расчету ОАО ОКБ «ГИДРОПРЕСС» [6]. Мониторинг безопасности реализации проекта стабилизации крена здания РО-3 способом пригруза обеспечивается следующими средствами:

- систематическими высокоточными геодезическими наблюдениями за осадками и креном здания РО-3. Периодичность наблюдений два раза в год в течение всего периода эксплуатации. Точность геодезических наблюдений установить по первому классу согласно ГОСТ 24846-81;
- реализацией проекта системы мониторинга путем монтажа четырех датчиков крена на перекрытии отметки +13,00 здания реакторного отделения энергоблока № 3.

Таким образом, для обеспечения высокоточного наблюдения за опасными явлениями была разработана информационно-измерительная система (ИИС) мониторинга крена реакторного отделения и фланца реактора энергоблока № 1 ОП «Запорожская АЭС».

Необходимость разработки проекта ИИС обусловлена продолжающимся нарастанием крена реакторного отделения здания РО-1 и достижением уклона фланца главного разъема реакторного аппарата энергоблока № 1 Запорожской АЭС предельных значений. Необходимость в проведении подобных работ также вызвана внесёнными в нормативные документы по проектированию реакторных отделений АЭС в последние годы дополнительными требованиями к методике инженерно-геологических изысканий и методам расчёта грунтовых оснований [7]. Внедрение ИИС на энергоблоке № 1 позволит оперативно контролировать состояние грунтового основания здания РО-1 по параметру «крен». Реализация запроектированной ИИС позволит также обеспечить постоянный контроль крена реакторного отделения при проведении работ по стабилизации путем формирования контргруза.

В соответствии с техническим заданием к договору проведен анализ условий расположения компонентов проектируемой системы мониторинга, выработаны технические требования к компонентам системы мониторинга, в частности, к первичным преобразователям данных (сенсорам), и к топологии ИИС [8].

Оценка влияния осадок и крена здания РО на положение реакторного аппарата энергоблока № 1 выполнена по результатам корреляционного анализа параметров осадочной плоскости РО-1 и плоскости фланца реактора. При выборке параметров принят единый начальный цикл измерений, а сами измерения отсортированы по ближайшим датам.

Математически отмеченная связь обосновывается коэффициентом корреляции Пирсона. Коэффициент корреляции, вычисленный по данным натурных наблюдений и измерений по энергоблоку № 1, составляет  $R_{i,j} = 0,994$ , т. е. отклонение параметров плоскости фланца реактора от осадочной плоскости здания РО-1 составляет менее 1%. Таким образом, связь между параметрами абсолютно устойчивая. Эта связь используется для перехода от прогнозирования крена здания РО-1 к прогнозу уклона фланца главного разъема реактора.

Предварительным концептуальным проектированием системы мониторинга кренов РО и фланца реактора предусмотрена установка четырех идентичных датчиков крена в районе отметки 13,200 по четырем квадрантам относительно центральной оси.

Был произведен сбор данных о технических характеристиках датчиков крена (инклинометров) и выбрана конфигурация системы мониторинга крена РО и фланца реактора энергоблока № 1 ОП ЗАЭС.

Проектируемая система мониторинга построена на базе оборудования фирмы Leica.

Анализ условий расположения компонентов, топологии системы мониторинга и условий работы первичных преобразователей позволяет выделить следующие основные требования к предполагаемой конфигурации:

- датчики системы мониторинга должны выдерживать диапазон рабочих температур, соответствующий наружному использованию в климатических условиях умеренного климата;
- датчики должны быть устойчивы к мелким механическим воздействиям и случайным повреждениям в ходе эксплуатации;
- датчики должны быть оборудованы прочным механическим корпусом;
- должен быть предусмотрен монтаж датчиков (первичных преобразователей) на вертикальные поверхности железобетонных конструкций;
- чувствительность первичного преобразователя должна составлять не более 5 мкрад;
- диапазон работы первичного преобразователя должен составлять не менее 1,5 мрад в обе стороны;
- датчик должен регистрировать уклон по обеим осям;
- должна быть предусмотрена возможность автономной работы датчиков с записью информации в выделенное для каждого датчика устройство считывания на протяжении длительного времени;
- топология проектируемой системы должна обеспечивать связь по проводному каналу связи с центральным устройством управления и обработки данных на расстоянии не менее 20 м между центральным устройством управления и обработки данных и каждым из датчиков;
- в случае невозможности выполнения предыдущего условия должна быть предусмотрена возможность автономной работы каждого из датчиков, подсоединенного к

выделенному устройству считывания, с автоматической передачей данных на центральное устройство управления и обработки данных по беспроводному или проводному непостоянному каналу связи.

Перечисленным выше требованиям удовлетворяют инклинометрические преобразователи, которые проектируются и разрабатываются в рамках научной школы под руководством Г. Н. Ковшова на базе ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры». Разрабатываемые датчики по сравнению с зарубежными аналогами имеют меньшую стоимость и не уступают им по техническим характеристикам. Поэтому они могут быть использованы как первичные преобразователи для построения ИИС мониторинга здания реакторного отделения АЭС.

На рисунках 3 и 4 соответственно представлены: место расположения первичных преобразователей, а также комплект измерительного оборудования для мониторинга.



*Рис. 3. Расположение первичных преобразователей*



1



2



3



4

*Рис. 4. Комплект измерительного оборудования: 1 – двухосный инклинометрический преобразователь, 2 – логгер, 3 – конвертер, 4 – СОМ-кабель*

Постоянные наблюдения за состоянием сложных инженерных сооружений потребовали внедрения в практику автоматизированных систем деформационного мониторинга, позволяющих дистанционно измерять различные физические величины, в том числе

определяемые геодезическими методами. Одним из таких измеряемых параметров является угол наклона исследуемого объекта от вертикальной (горизонтальной) плоскости.

Информационно-измерительная система мониторинга крена здания реакторного отделения АЭС реализуется на базе переносной ЭВМ с установленным программным обеспечением. Данный программно-аппаратный комплекс позволяет производить настройку датчиков, калибровку и установку нулевой точки отсчета, считывание и хранение данных измерений. Устройство управления и считывания данных не устанавливается стационарно, а подключается к датчикам-инклинометрам по мере необходимости в соответствии с планом наблюдений за креном фланца реактора.

Процедура фиксации показателей датчиков включает:

- подключение персонального компьютера к датчику угла наклона через сетевой кабель;
- запуск программы Орега с рабочего стола ПК;
- ввод в командной строке адреса датчика ИИС;
- считывание информации измерений угла наклона (рис. 5), где цифрами обозначено следующее:

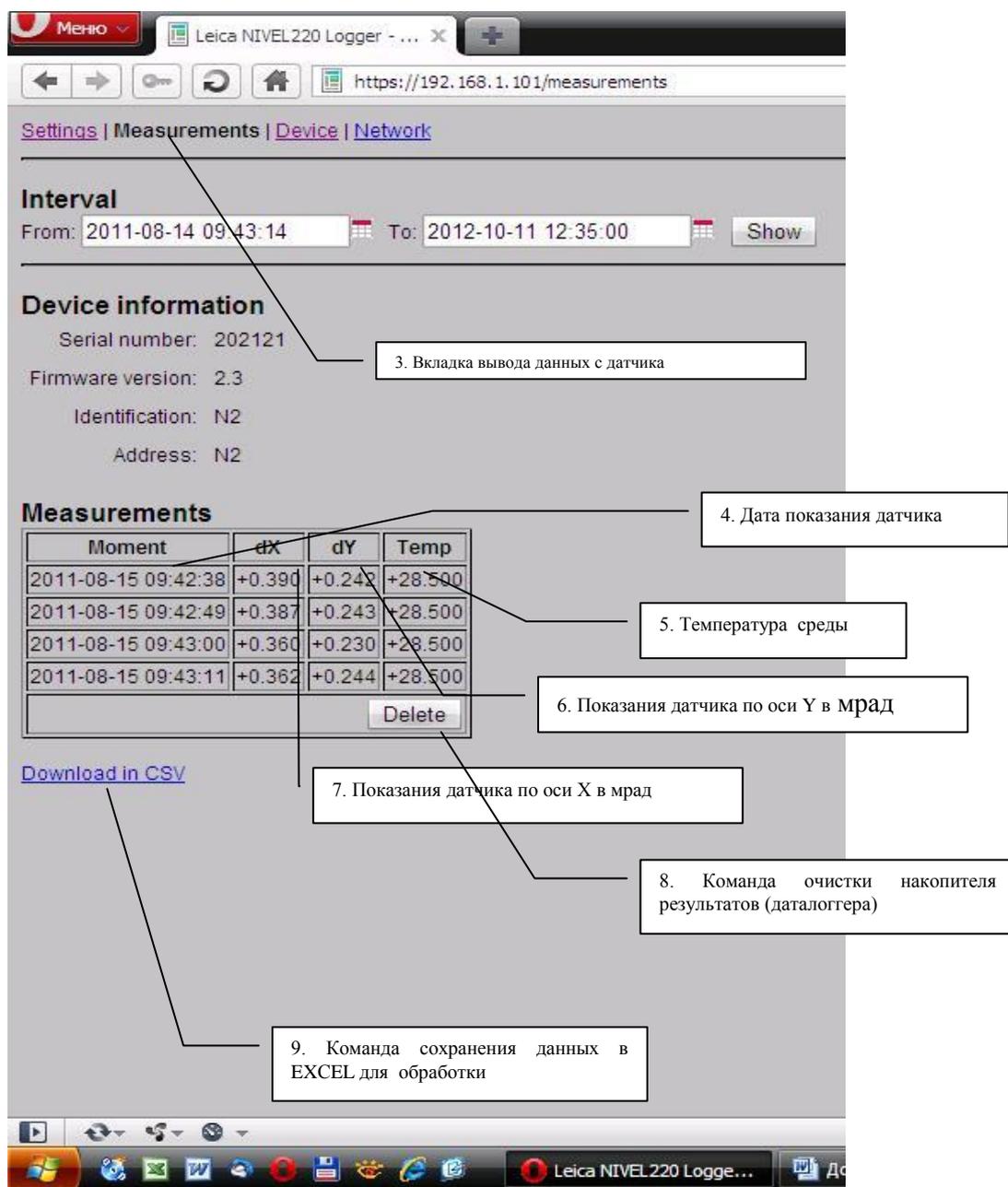


Рис. 5. Диалоговое окно программы получения информации с датчика

- место расположения датчиков угла наклона, согласно проектной документации;
- порядковый номер датчика в системе опроса и обработки данных;
- вкладка вывода данных, где оператор может ознакомиться с полученными данными (данная опция осуществляется при помощи кнопки «Show»); сохранить их в текстовом формате CSV, предназначенном для представления табличных данных; а также установить промежуток времени, на протяжении которого прибор будет записывать данные;
- в колонке даты показания датчика содержатся сведения о начальной дате и времени измерения и всех последующих;
- температура окружающей среды в градусах Цельсия;
- угол наклона датчика по оси  $Y$ . Знак «+/-» определяет сторону, возвышающуюся над горизонтальной плоскостью. Измерение производится в миллирадианах. Погрешность измерения угла наклона здания РО составляет  $\pm 0,001$  мрад, что соответствует крену здания и/или фланца реактора величиной  $\pm 0,001$  мм/м, и/или 0,004 мм на диаметр фланца главного разъема реактора;
- то же, по оси  $X$ ;
- команда удаления записанных данных очищает память устройства от данных, выведенных на экран;
- команда сохранения данных, выведенных на экран, для последующей обработки.

**Выводы.** Разработана и согласована с регулирующими органами методика мониторинга строительных конструкций для условий нормальной эксплуатации, запроектных аварий и максимально возможных воздействий. Разработан проект установки технических средств (датчиков), произведена их установка и снятие показаний. Разработана, опробована и прошла верификацию компьютерная программа по:

- тестированию (проведению проверки) работоспособности технических средств (датчиков);
- проведению опроса всех технических средств (датчиков) и сбору информации;
- переводу измеренных величин в контролируемые параметры, приведению их в наглядный вид, отображению и сигнализации об их изменениях и тенденциях развития деформаций (деградационных процессов);
- проведению оценки технического состояния элементов, конструкций и здания в целом;
- прогнозированию деградационных процессов и определению срока безопасной работы для условий нормальной эксплуатации, запроектных аварий и максимально возможных воздействий.

Функционирует компьютерная система для сбора, обработки и анализа данных о состоянии строительных конструкций и зданий. Проводится своевременная диагностика и анализ состояния строительных конструкций зданий и сооружений. Ведется обработка и подготовка стандартных отчетов о состоянии строительных конструкций. Система мониторинга позволит получать полную информацию о техническом состоянии элементов, конструкций и здания в целом, началах изменения состояния, деформационных и деградационных процессов, своевременное принятие соответствующих мер по поддержанию (восстановлению) работоспособного состояния, оптимизировать планирование и ведение технического обслуживания и ремонта строительных конструкций, а также зданий и сооружений АЭС в целом.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Класифікація: ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95). – К. : Держстандарт України, 1996.
2. Надежность атомных станций и их оборудования. Основные положения и номенклатура показателей: ГОСТ 26291-84. – М. : Госкомитет СССР по стандартам, переиздание, 1987.
3. Грунты. Методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений: ГОСТ 24846-81.
4. Вимоги до програми забезпечення якості на всіх етапах життєвого циклу ядерних установок: НП 306.5.02/3.017-99.
5. Общие требования к продлению эксплуатации энергоблоков АЭС в сверхпроектный срок по результатам выполнения периодической переоценки безопасности: НП 306.2.099-2004.

6. Определение допустимого наклона фланца главного разъема корпусов реакторов энергоблоков № 1, 3 ОП ЗАЭС. Этап 2. ОАО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»: 804/08624607/02049. – М., 2011.

7. Сбор исходных данных, анализ условий работы измерительных устройств, разработка технических требований к параметрам первичных преобразователей и регистраторов мониторинга крена реакторного отделения и фланца реактора энергоблока № 1: 1905-05.01-ИИС.

8. Автоматизированные системы технического диагностирования строительных конструкций. Общие технические требования : ДСТУ Б В. 2.6.-25-2003– Введ. 01.07.2003. – К. : Держбуд України, 2003. – 24 с.

**УДК 621.868.27**

## **РОЗРОБКА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ РОЗБИРАННЯ ПОШИРЕНИХ ЗАВАЛІВ ЗРУЙНОВАНИХ СПОРУД ТА БУДІВЕЛЬ**

*С. В. Шатов, к. т. н., доц.*

**Ключові слова:** техногенні аварії, стихійні лиха, зруйновані споруди та будівлі, поширені завали, засоби механізації

**Проблема.** Щороку в Україні реєструється близько 350 надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру [10]. У країні функціонують 17 тис. потенційно небезпечних об'єктів. Комунальна інфраструктура зношена більше ніж на 60 %, унаслідок чого кількість аварій за останні 10 років зростає майже в п'ять разів. Унаслідок надзвичайних ситуацій та подій щорічно гине понад п'ять тисяч людей. Техногенні катастрофи, аварії та стихійні лиха призводять до пошкодження або руйнування споруд та будівель. Під завалами зруйнованих об'єктів можуть знаходитися потерпілі. Розбирання завалів виконується машинами та механізмами, які не відповідають вимогам цих робіт, що зумовлює виконання рятувальних або відновлювальних робіт за недосконалою технологічними схемами, особливо коли завали мають значні розміри. Тому **метою** досліджень є розробка організаційно-технологічних рішень розбирання поширених завалів зруйнованих споруд та будівель із використанням нових типів машин та їх робочого обладнання.

**Аналіз публікацій.** До стихійних лих відносять землетруси, урагани, зсуви ґрунту та повені. Проявами техногенних катастроф та аварій є вибухи газу, пожежі, руйнування мереж водопостачання та каналізації [1 – 5; 10]. Аналіз аварійно-рятувальних робіт у Вірменії (1989 р.), Дніпропетровську (2007 р.), Євпаторії (2008 р.) показав, що розбирання завалів було пов'язане із руйнуванням ушкоджених конструкцій та великогабаритних уламків, їх підйомом, навантаженням ывивезенням [1; 3; 5].



*Рис. 1. Розбирання завалу телескопічним краном у Дніпропетровську*