



РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПРОТИВООПОЛЗНЕВЫХ АНКЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Сообщение 2. Анализ собственных форм и частот сложной конструкции противооползневого анкерного сооружения

Н. И. БУРАУ, д-р. техн. наук, Ю. В. КЛЕФА, Э. В. КУЛИШ, инженеры (НТУУ «Киевский политехнический институт»)

Разработана дискретная модель сложной конструкции противооползневого анкерного сооружения. Проведен анализ собственных форм и частот колебаний анкеров и определены их зависимости от функционального состояния сооружения, а именно от закрепления замков анкеров и жесткости стержней.

The discrete model of complex construction of an anchor against landslide construction is developed. The analysis of anchors oscillations shapes and frequencies is carried out for different operating conditions of against landslide construction, the functional dependencies of natural frequencies on fixation and rigidity of rods are defined.

Приведенные в работе [1] результаты анализа дискретной модели противооползневого анкерного устройства показали, что для диагностики состояния нагружения анкера, выделения признака уменьшения натяга и определения характера его зависимости от изменяющейся растягивающей силы целесообразно использовать изменения перемещений подпорной стенки и собственных форм и частот анкера. Для отдельного анкера были проведены теоретические исследования и модельные эксперименты с целью установления функциональных зависимостей вибрационных характеристик подпорной стенки и стержня анкера от параметров, которые характеризуют изменение состояния анкерного противооползневого устройства (натяжение анкера, жесткость стержня).

На практике противооползневые анкерные сооружения, которые устанавливаются в потенциально опасных местах, представляют собой сложные инженерные сооружения, состоящие из множества анкеров с жестко закрепленными по поверхности и между собой подпорными стенками (рис. 1). Необходимое количество анкеров в таких сооружениях определяется площадью укрепляемой территории, эколого-геологическими условиями, наличием расположенных на укрепляемой территории зданий и сооружений [2]. Достаточно высокая плотность установки анкеров повышает эффективность защиты территории в случае возникновения и распространения оползневых процессов. Однако сложность реальной конструкции противооползневых сооружений обуславливает необходимость исследований более сложных, чем приведенные в работе [1], диагностических моделей контролируемого объекта. Поэтому в дан-

ной работе объектом исследований является часть противооползневого сооружения, состоящая из трех жестко соединенных плит подпорной стенки с анкерами.

Целью данной статьи является моделирование сложной конструкции противооползневого сооружения, определение и анализ собственных частот отдельных анкеров, находящихся в составе сложной конструкции, в зависимости от способа закрепления и состояния анкера.

Для построения дискретной модели указанной выше конструкции стержни анкеров моделировали стальными тросами одинаковой длины (15 м) из углеродистой стали со следующими характеристиками: плотность 7850 кг/м^3 ; модуль упругости $2,05 \text{ Н/м}^2$; коэффициент Пуассона 0,29; модуль сдвига 8 Н/м^2 ; предел прочности при растяжении $5,85 \text{ Н/м}^2$. Для моделирования подпорной стенки использована модель бетонной плиты с характеристиками: плотность 2000 кг/м^3 ; модуль упругости $2,75 \text{ Н/м}^2$; коэффициент Пуассона 0,2.



Рис. 1. Противооползневые анкерные сооружения в АРК

Во всех модельных экспериментах использовано закрепление плиты по поверхности.

Анализ собственных частот анкеров в зависимости от условий закрепления их замковых устройств. Моделирование сложной конструкции противооползневого устройства проводили для следующих условий:

- подпорные стенки анкеров жестко соединены между собой и жестко закреплены по поверхности;
- жесткость всех стержней анкеров принимается равной и постоянной во всех модельных экспериментах;
- замковые устройства всех трех анкеров жестко закреплены, последовательно определяются собственные частоты каждого анкера по первым трем формам колебаний;
- замковые устройства всех трех анкеров не закреплены (свободные концы стержней), последовательно определяются собственные частоты каждого анкера по первым трем формам колебаний.

Примеры колебаний одного из стержней (левого) по трем формам для жесткого закрепления замковых устройств приведены на рис. 2, а результаты определения собственных частот стержней в табл. 1.

Как видно из приведенных результатов, для анализируемой конструкции противооползневого анкерного сооружения собственные частоты стержней всех трех анкеров совпадают по значениям для каждой формы колебаний и для одних и тех же условий закрепления стержней. Собственные частоты стержней анкеров с закрепленным замком превышают соответствующие частоты для анкеров со свободным (незакрепленным) замком в 6,4 раза по первой форме колебаний, в 2,8 раза по второй и практически в 2 раза по третьей. Такое изменение собственных частот может иметь место в случае, если под действием оползневых процессов анкер будет вырван из коренной породы. В этом крайнем случае наибольшее изменение соб-

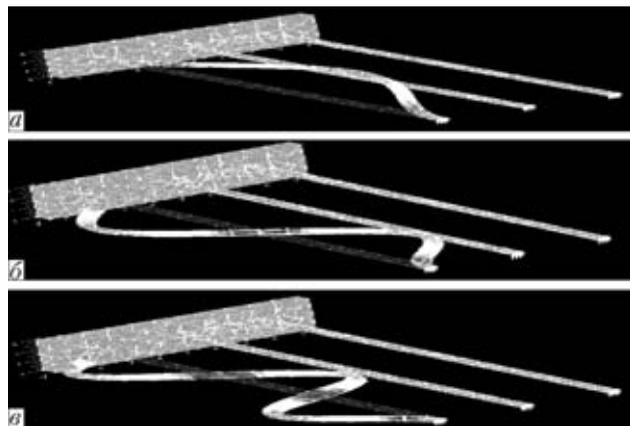


Рис. 2. Колебания левого стержня анкеров с закрепленными замками по первой (а), второй (б) и третьей (в) формам

ственной частоты происходит по первой форме колебаний.

Чтобы установить функциональную зависимость изменения собственных частот от условия закрепления анкеров в рассматриваемой конструкции противооползневого сооружения проведен цикл модельных экспериментов для следующих условий:

- подпорные стенки анкеров жестко соединены между собой и жестко закреплены по поверхности;
- жесткость всех стержней анкеров принимается равной и постоянной во всех модельных экспериментах;
- в исходном состоянии замковые устройства всех трех анкеров жестко закреплены, анализируются колебания, когда в сооружении последовательно каждый из анкеров может быть вырван из коренной породы;
- в исходном состоянии замковые устройства всех трех анкеров жестко закреплены, анализируются колебания, когда в сооружении последовательно по два из трех анкеров становятся незакрепленными, т.е. могут быть вырваны из коренной породы;

Результаты моделирования приведены в табл. 2.

Как видно из полученных результатов, для одинаковых по размерам, характеристикам и функциональному состоянию анкеров собственные частоты конструкции из трех анкеров практически не зависят от пространственного положения анкера с дефектом закрепления. Если учесть результаты, приведенные в табл. 1 для случая закреп-

Таблица 1. Собственные частоты стержней конструкции из трех анкеров для различных условий закрепления замков анкеров, Гц

Форма колебаний	Стержень	Замок	
		закрепленный	незакрепленный
1	левый	0,491436	0,076998
	правый	0,491491	0,076999
	центральный	0,491577	0,077000
2	левый	1,355181	0,482281
	правый	1,355841	0,482381
	центральный	1,356142	0,482427
3	левый	2,657598	1,349643
	правый	2,659305	1,350525
	центральный	2,660249	1,350556

Таблица 2. Собственные частоты конструкции из трех анкеров с дефектом закрепления, Гц

Форма колебаний	Незакрепленный замок анкера					
	одного			двух		
	левый	правый	центр.	правый и центр.	левый и центр.	левый и правый
1	0,08	0,07	0,07	0,04	0,045	0,04
2	0,48	0,49	0,48	0,32	0,31	0,33



ленных замков всех трех анкеров рассматриваемой конструкции противооползневого сооружения, можно получить зависимость изменения собственных частот по первым трем формам колебаний от состояния конструкции противооползневого сооружения, состоящего из трех анкеров. Значения приведенных частот f_i^*/f_{i0} ($i = 1; 2; 3$), где f_{i0} — значение собственной частоты по i -й форме колебаний для случая закрепленных замков всех трех анкеров (состояние S_0), f_i^* — значение собственной частоты по i -й форме колебаний с незакрепленными замками одного из анкеров (состояние S_1) или двух анкеров (состояние S_2), приведены в табл. 3.

Как видно из приведенных результатов, если под воздействием оползневых процессов стержень одного анкера вырван из коренной породы, собственная частота такого сооружения значительно уменьшается по всем трем формам колебаний: в 7 раз по первой; в 2,8 — по второй; почти в 2 раза по третьей. Еще более значительное уменьшение частот наблюдается, если два из трех анкеров противооползневого сооружения вырваны из коренной породы: в 12,5 раз — по первой форме; в 4,2 — по второй; в 2,3 раза — по третьей форме колебаний. Наибольшее изменение частоты имеет место по первой форме колебаний, что может служить диагностическим признаком изменения состояния закрепления анкера и использоваться для диагностики функционального состояния анкерного противооползневого сооружения.

Анализ собственных частот анкеров в зависимости от изменения жесткости их стержней. Отдельный модельный эксперимент провели для анализа влияния на собственные частоты уменьшения жесткости стержня одного из анкеров сложной конструкции противооползневого сооружения. Как и в предыдущих исследованиях [2, 3], уменьшение жесткости ΔC стержня анкера ис-

пользовали для имитации уменьшения натяжения анкера.

В данном модельном эксперименте моделировали конструкцию противооползневого сооружения, состоящую из трех анкеров с подпорными стенками, для следующих условий:

- замковые устройства всех трех анкеров жестко закреплены;
- в исходном состоянии жесткость всех трех анкеров принимается равной;
- подпорные стенки анкеров жестко закреплены между собой и закреплены по поверхности;
- жесткость одного анкера (левого) изменялась в каждом модельном эксперименте (уменьшалась), относительное изменение жесткости принималось равным $\Delta C = 0,15; 0,25$;
- для анкера с уменьшающейся жесткостью определялись собственные частоты по первым трем формам колебаний.

Результаты моделирования приведены в табл. 4.

Результаты, приведенные в табл. 4 для $\Delta C = 0,15$, являются очень близкими к результатам моделирования одного анкера с закрепленным замком в [1]. Дальнейшее уменьшение жесткости анкера приводит к еще более существенному уменьшению собственных частот, в особенно по первой форме колебаний — более, чем в три раза. Если учесть результаты анализа собственных частот, приведенные в табл. 3, можно сделать вывод, что изменение собственных частот при уменьшении жесткости анкера находится в пределах перехода противооползневого устройства из функционального состояния S_0 в состояние S_1 . Если в результате измерений и анализа импульсного отклика контролируемого анкера значение приведенной частоты по первой форме колебаний будет меньше единицы и больше порогового значения, соответствующего состоянию S_1 , это будет признаком изменения (уменьшения) натяжения анкера под воздействием оползневых процессов. Если же значение приведенной частоты по первой форме колебаний станет меньше порогового значения, это будет признаком того, что анкер вырван из коренной породы и не выполняет своей поддерживающей и защитной функции.

Выводы

Разработана дискретная модель сложной конструкции противооползневого сооружения, содержащая три анкера с подпорными стенками, которые жестко закреплены между собой и по поверхности. Для данной модели определены собственные частоты отдельных анкеров, находящихся в составе конструкции, в зависимости от способа закрепления и состояния анкера.

В результате моделирования сооружения с незакрепленными и закрепленными замками стерж-

Таблица 3. Значения приведенных собственных частот в зависимости от закрепления замков анкеров

f_i^*/f_{i0}	Состояния		
	S_0	S_1	S_2
$i=1$	1	0,14	0,08
$i=2$	1	0,36	0,24
$i=3$	1	0,51	0,44

Таблица 4. Значения приведенных собственных частот в зависимости от уменьшения жесткости стержня

f_i^*/f_{i0}	ΔC		
	0	0,15	0,25
$i=1$	1	0,73	0,32
$i=2$	1	0,75	0,55
$i=3$	1	0,75	0,54

жней определены собственные частоты, которые для каждого из условий закрепления стержней всех трех анкеров совпадают для каждой формы колебаний. Собственные частоты стержней анкеров с закрепленным замком превышают соответствующие частоты для анкеров со свободным (незакрепленным) замком в 6,4 раза по первой форме колебаний, в 2,8 раза по второй и почти в 2 раза по третьей формам колебаний.

Проведено моделирование и исследование влияния изменения функционального состояния элементов сооружения на собственные частоты по первым трем формам колебаний. В результате моделирования дефектов закрепления стержней установлено, что если стержень одного или двух анкеров вырван из коренной породы (замок не закреплен), собственная частота такого сооружения значительно уменьшается по всем трем формам колебаний. Наибольшее изменение частоты имеет место по первой форме колебаний — в 7 раз для незакрепленного замка одного анкера и в 12,5 раза, если незакрепленными станут два из трех анкеров.

Проведено моделирование и анализ влияния на собственные частоты уменьшения жесткости стержня одного из анкеров сложной конструкции противооползневое сооружения. В результате ус-

тановлено, что уменьшение жесткости стержня одного из анкеров приводит к уменьшению собственных частот по первой форме колебаний в 1,4 раза для $\Delta C = 0,15$ и более, чем в три раза для $\Delta C = 0,25$. Изменения собственной частоты по первой форме колебаний целесообразно использовать в качестве диагностического признака изменения функционального технического состояния противооползневое анкерного сооружения.

Полученные результаты являются новыми и будут использованы для разработки системы вибрационной диагностики функционального технического состояния противооползневых анкерных сооружений.

1. Бурау Н. И., Клефа Ю. В., Кулиш Э. В. Разработка метода диагностики функционального технического состояния элементов конструкций противооползневых анкерных сооружений. Сообщение 1. Анализ напряженно-деформированного состояния и собственных частот анкера // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2011. — №2. — С. 40–45.
2. Гинзбург Л. К. Противооползневые удерживающие конструкции. — М.: Стройиздат, 1979. — 81 с.
3. *Theoretical bases of vibration diagnostics of anchor against landslide constructions* / N. Bouraou, Iu. Klofa, Yu. Zsukovskij, E. Kulish // *Vibrations in Physical Systems*. — 2010. — 24. — P. 63–68.

Поступила в редакцию
06.04.2011

Национальная конференция по НК в Хорватии — научный тур

Хорватское общество по неразрушающему контролю приглашает членов Украинского общества НКТД принять участие в национальной конференции "MATEST", которая состоится **2 – 5 ноября 2011 г.** в Хорватии, г. Сплит.

После завершения конференции намечено провести туристическую поездку по Хорватии (Сплит – Дубровник) и Италии (Неаполь – Рим – Бари – остров Искья (термальные источники)).

В г. Брешиа (Италия) **1 – 12 ноября** состоится сессия Международной академии неразрушающего контроля под названием "Будущее NDT". На сессии будут представлены интересные доклады по актуальным вопросам неразрушающего контроля.

Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики приглашает всех желающих принять участие в работе конференции, а также при желании — в туристической поездке.

*По организационным вопросам просьба обращаться в Секретариат УО НКТД:
(044) 200-46-66, 205-22-49, 525-95-29.*