

В. И. ПЕТРЕНКО (ОАО «Киевметрострой»), В. Д. ПЕТРЕНКО, А. Л. ТЮТЬКИН (ДИИТ)

## **ПРИМЕНЕНИЕ «ФИЛЬТРОВ» ДЛЯ УГЛУБЛЕННОГО АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ СИСТЕМЫ «КРЕПЬ-МАССИВ» В РАСЧЕТАХ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

У представленій статті наводиться модернізація процесу розрахунку методом скінченних елементів за допомогою прийому «фільтрування». Викладено алгоритм та надані види «фільтрів», які дозволяють отримувати обширну й чітко побудовану інформацію на підставі результатів розрахунку професійних розрахункових комплексів.

В представленной статье приводится модернизация процесса расчета методом конечных элементов с помощью приема «фильтрации». Изложен алгоритм и даны виды «фильтров», которые позволяют получать обширную и четко выстроенную информацию на основе результатов расчета профессиональных расчетных комплексов.

The modernization of account process by a finite elements method with the help of reception of «filtering» is resulted in submitted article. The algorithm and the kinds of «filters» are given which allow receiving more extensive and precisely built information on the results basis of professional settlement complexes account is stated.

В сложившейся ситуации исследования подземных сооружений отчетливо выделилась тенденция тяготения от аналитических методов расчета к численным [1–4]. Данная тенденция обусловлена рядом объективных причин, в том числе обстоятельной проработанностью численных методов исследования (конечных элементов, граничных элементов, их гибридов, начальных параметров, конечных разностей, дискретных элементов) и, что самое важное, внедрением их в реальные исследования путем разработки множества расчетных комплексов различного класса (ANSYS, SCAD, PLAXIS, Zenit, Lira, «Мираж» и т. д.). Легитимность численных методов также косвенно была подтверждена тем количеством решений различного типа задач, которые сложно или даже невозможно решить с помощью аналитических методов [3; 5; 6]. Но, несомненно, применение численных методов – не панацея, и авторы данной статьи усматривают в широком их применении с разработкой на ПЭВМ некоторый отрицательный опыт, а именно – сведение общих теоретических знаний до уровня придатка практических или даже механических действий, нивелирования общих знаний вопроса или даже активного их незнания, профанации теоретических исследований или даже негативного отношения к ним, как к непрагматическим знаниям, знаниям неважным и ненужным.

Конечно же, точка зрения авторов не является консервативной, т. к. рассмотрено лишь два полюса использования расчетных комплексов – осмысленный и неосмысленный. Извест-

но, что мировая практика давно базируется на исследованиях численными методами, с чем нельзя не считаться [5; 7], но два полюса отношения к ним также существуют и процветающая западная практика неосмысленного отношения к расчетам, как к механическому действию, постепенно занимает позиции повсеместно.

В связи с вышеизложенным, следует рассмотреть практические результаты, получаемые с помощью расчетных комплексов (в данном случае на основе метода конечных элементов – МКЭ), и сделать попытку расширения их интерпретации для более углубленного анализа поведения исследуемых систем.

Большинство расчетных комплексов, в основу которых входит исследование систем МКЭ, имеет возможность решения задач с упругопластическим массивом, анизотропных и/или ортотропных и макротрещиноватых массивов (МКЭ в комбинации с методом граничных элементов), упруговязким массивом на основе теории наследственной ползучести с различными видами аппроксимации функций ползучести, задач с различными видами взаимодействия крепи и массива и т. д. [1–6]. Но информация, получаемая после расчетов, независимо от класса расчетного комплекса по существу стереотипна – результаты представляют собой массивы компонент нормальных и касательных напряжений, а также линейных и угловых деформаций в узловых точках конечных элементов исследуемой модели. Трудоемкий и кропотливый анализ огромного массива данных несколько облегчается после проведе-

ния операции визуализации, т. е. построения постпроцессором комплекса линий равных величин (изолиний) различных компонент на исследуемой модели на основе печатных данных решенной задачи. Как видно из представленного, получается несколько однобокая картина исследования, свойством которой является перекокс в сторону огромных усилий в построении модели (а существующие комплексы пусть и позволяют визуально отслеживать такие действия, но все равно они довольно сложны) и вводе значительного числа данных (задача усложняется, если массив и/или крепь представлять упруговязкой или упругопластической средой с возможностью реологических явлений) и довольно скурых результатов расчета. Из этого следует проблема более углубленного анализа взаимодействий в системе «крепь-массив» и нами дается один из путей ее решения. Этот путь подразумевает под собой более полное использование первичной информации (результатов расчета на ПЭВМ) реализуется в применении так называемых «фильтров».

“ФИЛЬТРЫ”



Рис. 1. Схема фильтров с кратким пояснением их действий

Под «фильтром» будем понимать подпрограмму, действием которой является обработка данных расчетного комплекса неким присущим этому «фильтру» образом, целью которой является получение более обстоятельной информации, чем первичная информация расчетного комплекса. На рис. 1 авторами предлагается схема «фильтров» с кратким пояснением их функций. Несомненно, количество «фильтров», представленных авторами, не является догмой и должно в дальнейшем увеличиваться. Количество «фильтров» должно диктоваться лишь требованиями расчетчиков-аналитиков и запросами исследователей, каких-либо системных требований к ним нет, т. к. практическая реализация может быть основана на стандартных приложениях Microsoft Office for Windows – Access, Excel или языках объектно-ориентированного программирования и др.

На рис. 2. показана схема действия «фильтра», основой которого является сравнение и выборка («фильтрация») первичных данных.

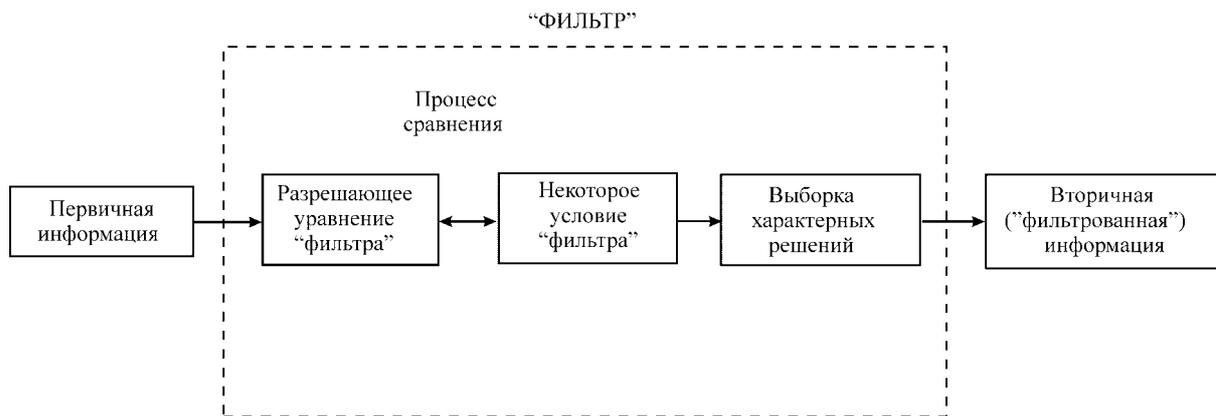


Рис. 2. Схема действия «фильтра» на основе алгоритма сравнения

Перед тем, как перейти к практической реализации «фильтрования», рассмотрим разрешающие уравнения «фильтров», представленных на рис. 1, и ту дополнительную информацию, которую они могут дать.

Разрешающим уравнением «фильтра» № 1 может являться любое уравнение теорий (концепций) прочности, применяющихся в конкретном расчете. Например, для расчетов грунтовых массивов может применяться условие прочности Кулона-Мора [8]. Из этого следует, что «профильтровав» первичную информацию расчетного комплекса (компоненты напряжений в точках) и решив разрешающее уравнение этого «фильтра», можно получить изолинии, соединяющие точки, в которых прочность достигла предельного значения. Модифицировав «фильтр» № 1, с помощью сравнения можно определять запас прочности в интересующих расчетчика точках.

Разрешающие уравнения «фильтров» № 2–4 (энергетические «фильтры») схожи, различием является лишь условие, с которым сравнивается решение уравнения. Разрешающими уравнениями являются: для «фильтра» № 2 – энергия упругопластического деформирования [8], «фильтра» № 3 – энергия разрушения [9], «фильтра» № 4 – энергия реологических явлений [8; 9]. Сравниваться решения уравнений должны с экспериментальными данными по энергии формоизменения, разрушения или реологических явлений соответственно. Нахождение значений энергии системы по известным компонентам напряжений и деформаций (полученных из расчетов МКЭ) достаточно полно приводится в работах [8; 9].

«Фильтр» № 5, разрешающим уравнением которого является уравнение физико-технической теории ползучести Н. Н. Маслова [10], реализуется как сравнение компонент нормальных напряжений с порогом ползучести

(по Маслову) и таким образом получают зоны этого реологического явления.

«Фильтр» № 6 основан на определении вида деформирования посредством определения показателя Надаи-Лоде [11] путем несложных операций с массивом компонент напряжений или деформаций.

Реализация «фильтрования» первичной информации может быть решена в двух направлениях. Первое направление – для программистов и разработчиков расчетных комплексов, которые могут реализовать систему «фильтров» в средах программирования, в которых созданы эти комплексы, т. е. возможно внедрение «фильтрации» в стандартные исследовательские комплексы. Второе направление – для обычных пользователей Microsoft Office for Windows, которые недостаточно квалифицированы в программировании. Для них предлагается алгоритм «фильтрования» на основе предложенных «фильтров» (рис. 3).

Вербально можно описать алгоритм так:

1. После получения результатов, из расчетного комплекса массив данных о компонентах напряжений и деформаций экспортируется в Microsoft Excel.

2. В Microsoft Excel информация упорядочивается и производится расчет разрешающего уравнения «фильтра» по данным расчетного комплекса.

3. Массивы результатов разрешающих уравнений из Microsoft Excel направляются в Microsoft Access или в программу, которая базируется на цикле отбора IF...THEN (Visual Basic и др.), где происходит собственно процесс «фильтрования» как сравнения частей разрешающего уравнения «фильтра».

4. Полученные результаты экспортируются в Microsoft Excel, где производится углубленный анализ вторичной информации с построением графиков, диаграмм и т. д.

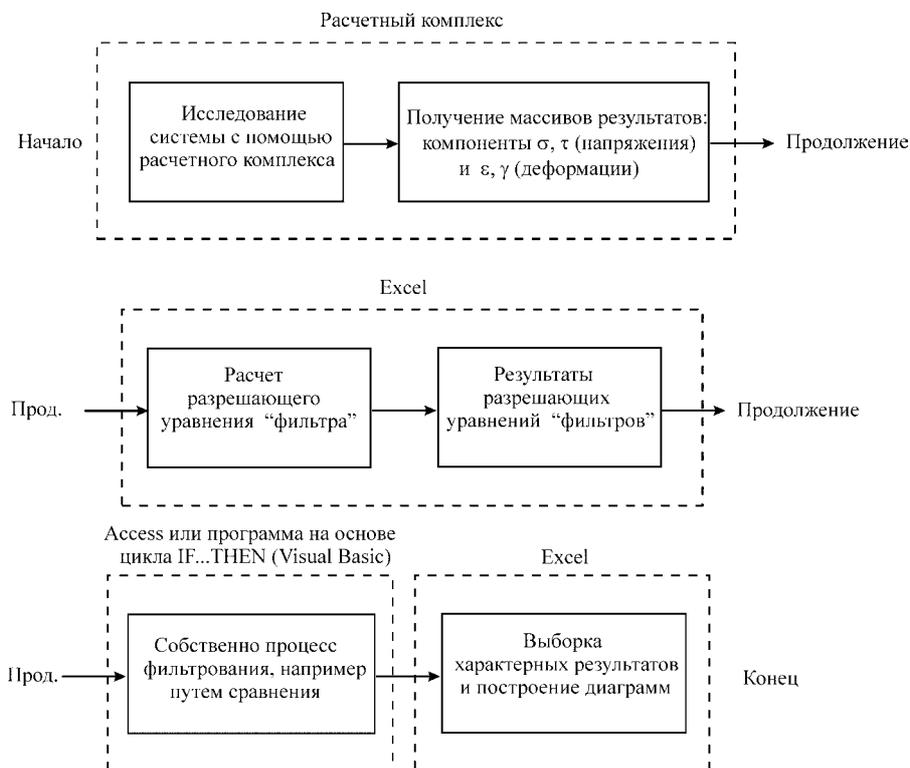


Рис. 3. Алгоритм «фильтрации»

Представленный способ и алгоритм углубленного анализа с помощью «фильтров» является попыткой более осмысленного и осознанного подхода к исследованиям подземных сооружений с помощью численных методов, реализованных в расчетных комплексах на ПЭВМ. Такой подход дает возможность отслеживания творческого изменения или коррекции расчета фундамента для более сложных построений в области компьютерных технологий и механики подземных сооружений. Причем при взвешенном отношении к ним, эти две области должны существовать как симбиоз, а не превалировать друг над другом, и именно такое слияние и есть залог новых достижений в этих областях.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юркевич П. Геомеханические модели в современном строительстве // Подземное пространство мира. – № 1–2. – 1996. – С. 10–31.
2. Шашенко А. Н., Пустовойтенко В. П. Расчет несущих элементов подземных сооружений. – К.: Наукова думка, 2001. – 168 с.
3. Современные методы прочностных расчетов в метро- и тоннелестроении / Демешко Е. А., Косицын С. Б., Сергеев В. К. и др. // Подземное строительство России на рубеже XXI века: Научно-техн. конф.: Сб. тр. 15–16 марта 2000. – М.: ТАР, 2000. – С. 200–207.

4. Метод граничных элементов в задачах горной геомеханики / Новикова Л. В., Пономаренко П. И., Приходько В. В., Морозов И. Т. – Д.: Наука и образование, 1997. – 180 с.
5. Метод суперэлементов в расчете инженерных сооружений / В. А. Постнов, С. А. Дмитриев, Б. К. Емышев, А. А. Родионов. – Л.: Судостроение, 1989. – 288 с.
6. Основы метода конечных элементов / Большаков В. И., Яценко Е. А., Соссу Г., и др. – Д.: ПГАСА, 2000. – 255 с.
7. Метод конечных элементов в статике сооружений: Пер. с польск. / Шмельтер Я., Дацко М., Добровичинский С., Вечорек М. – М.: Стройиздат, 1984. – 220 с.
8. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов: Учеб. пособие для строительных вузов. – М.: Высшая шк., 1978. – 447 с.
9. Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов. – М.: Стройиздат, 1971. – 368 с.
10. Маслов Н. Н. Физико-техническая теория ползучести глинистых грунтов в практике строительства. – М.: Стройиздат, 1984. – 176 с.
11. Зорин А. Н., Халимендик Ю. М., Колесников В. Г. Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 413 с.

Поступила в редколлегию 02.03.03