УДК 624.131

**Д.Н.ГОРОБЦОВ**
*Российский государственный геолого-разведочный университет им. С.Орджоникидзе, Москва*

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ФУНДАМЕНТОВ И ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ

Представлены результаты экспериментальных исследований теплопроводности, температуропроводности и объемной теплоемкости природных и промышленных материалов, отобранных из оснований и фундаментов памятников истории и культуры. На основе теплофизической информации с помощью математического моделирования разработан прогноз инженерно-геологических процессов, развивающихся в основании различных сооружений в связи с промерзанием-протаиванием.

Results of experimental measurements of thermal conductivity, thermal diffusivity and volumetric heat capacity of natural and industrial materials sampled from basements of historical and cultural monuments are presented. Engineering and geological processes taking place in basements of monuments caused by frost penetration and thawing through have been forecast on the basis of the measured thermal properties using mathematical modeling.

Проблема сохранения культурного наследия России является одной из труднорешаемых. Это связано с тем, что памятники истории и культуры находятся в сложных инженерно-геологических, гидрогеологических и климатических условиях. Колебания температуры в широком диапазоне положительных и отрицательных значений, распространение пылевато-глинистых грунтов, изменяющаяся сезонная влажность грунтов, определяемая атмосферными осадками, приводят к развитию и активизации опасных экзогенных геологических процессов, и в первую очередь морозного пучения.

В особо сложную группу попадают «летние» памятники, которые исторически не отапливались в зимнее время. Резкое изменение поля температуры приводит к деформациям, вызывающим с течением времени снижение прочностных и деформационных свойств кладки и материала фундаментов. Кроме того, глубина заложения фундаментов, как правило, невелика, и часто не превышает глубину сезонного промерзания, что еще более усугубляет положение.

В связи с этим важной задачей является изучение теплового режима грунтов оснований и фундаментов памятников истории и культуры в условиях значительных колебаний температуры. Теоретические оценки параметров теплового режима взаимодействия сооружения с окружающей средой возможны, если в распоряжении исследователей имеются:

- данные о тепловых свойствах (теплопроводности, температуропроводности, объемной теплоемкости, коэффициенте линейного теплового расширения), пористости, проницаемости, плотности;
- оценки вариаций температуры приповерхностной зоны;
- геометрическая характеристика исследуемого сооружения;
- современный программный инструмент для математического моделирования.

Для решения этой задачи с помощью коммерческого симулятора построены теоретические модели теплового режима грунтов оснований и фундаментов памятников XVII и XVIII веков «Настоятельские покои Борисоглебского монастыря» и музея-усадьбы Останкино (см. рисунок).

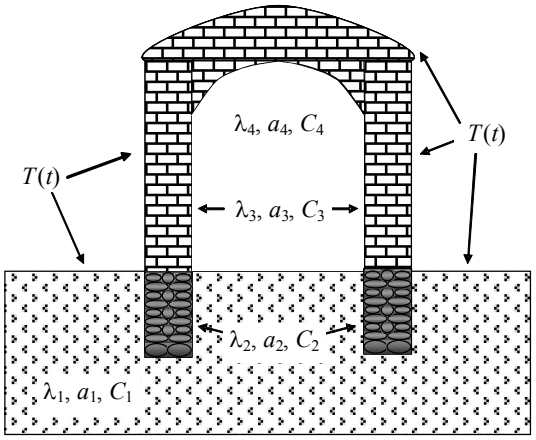
Теплофизические параметры пород и материалов, необходимые для построения модели (теплопроводность, температуропроводность, объемная теплоемкость, коэф-

фициент линейного теплового расширения), определяли экспериментально на образцах керна с помощью аппаратуры, разработанной в РГГРУ*. Данная аппаратура обладает следующими преимуществами:

- бесконтактный неразрушающий характер измерений;
- высокая точность измерений (основная погрешность измерений теплопроводности – не более 3 %, температуропроводности – не более 4 %);
- отсутствие необходимой механической обработки;
- возможность исследования полноразмерных образцов керна;
- допустимость исследования водонасыщенных образцов без опасности их разрушения;
- возможность изучения анизотропии свойств пород.

Измерение тепловых свойств проведены в сухом (после высушивания при температуре 105 °С) и водонасыщенном (вакуумирование) состояниях. Значения пористости и плотности определяли весовым методом. Образцы характерных материалов представлены зеленоватым суглинком, красным глиняным кирпичом, известняком и известковым раствором, отобранными из грунтов оснований и фундаментов китайгородской стены и усадьбы Зубовых на территории Москвы.

В результате математического моделирования удалось охарактеризовать вариации теплового режима памятников истории и культуры под влиянием процесса промерзания-оттаивания грунта. Установлена зависимость положения нулевой изотермы от вариаций тепловых свойств фундаментов и грунтов основания. Показано, что даже незначительные изменения тепловых свойств (5-10 %) существенно влияют на положение нулевой изотермы, в результате чего температура под фундаментом может иметь отрицательные значения. Это приводит к активизации морозного пучения, образованию криогенной текстуры грунтов и последующим деформациям.




Расчетная схема для моделирования процессов промерзания-протаивания
$\lambda$ – теплопроводность, $a$ – температуропроводность, $C$ – объемная теплоемкость, $T(t)$ – сезонные колебания температуры

Полученные результаты математического моделирования необходимы для разработки системы мероприятий по локализации негативных инженерно-геологических процессов в основании памятников истории и культуры.

Научные руководители проф. *Ю.А.Попов*, проф. *В.В.Пендин*

---

* *Попов Ю.А.* Теоретические модели метода измерения тепловых свойств горных пород на основе подвижных источников тепловой энергии // Геология и разведка. 1983. № 9. С.97-103.

Characterisation of rock thermal conductivity by high-resolution optical scanning / Yu.A.Popov, D.Pribnow, J.Sass, C.Williams, and H.Burkhardt // Geothermics. 28. 1999. P.253-276.