



## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Таисия ШЕПИТЬКО, Александр ЧЕРКАСОВ**  
[shepitko-tv@zmail.ru](mailto:shepitko-tv@zmail.ru)

Таисия Васильевна Шепитько, д.т.н., проф., Александр Михайлович Черкасов, инженер, Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), ул. Образцова, 15, Москва, **РОССИЯ**

***Аннотация:** Рассматривается способ обоснования конструктивно-технологических решений линейных транспортных сооружений. Для оценки решения выполняется физическая модель транспортного объекта, с помощью центрифуги моделируются нагрузки на предлагаемую конструкцию. По величинам и скоростям нарастания деформаций определяются объемы работ по текущему содержанию и плановым ремонтам, на основании чего делается заключение о применимости новой конструкции в конкретных эксплуатационных условиях.*

***Ключевые слова:** оценка конструкции, центробежное моделирование, пригодность к эксплуатации.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Центробежное моделирование – один из эффективных и важных методов решения инженерных задач. Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ) располагает одной из центробежных установок, которая в 2006 г. дополнена современным программным и аппаратным обеспечением, позволяющим автоматизировать процесс ввода исходной информации и вывода результатов испытаний, а также визуализировать их ход и получаемые результаты.

Установка может быть использована для отыскания рациональных конструктивно-технологических решений при строительстве железных дорог в сложных природно-климатических условиях. Эта проблематика является актуальной для России, где строительство новых железнодорожных линий ведется, в основном, в криолитозоне и сопровождается высокими затратами всех видов ресурсов.

### **СУЩЕСТВО ПРЕДЛАГАЕМОЙ МЕТОДИКИ**

Методика обоснования и выбора конструктивно-технологических решений состоит в следующем. В ходе научно-исследовательских и конструкторских разработок предлагается конструкция транспортного объекта, например верхнего строения пути или земляного полотна. Целесообразность ее использования обосновывается критериями, которые ориентированы на эксплуатационные свойства предлагаемой конструкции. Проверить эти свойства можно только натурным экспериментом – построив участок эксплуатируемой линии, либо заложив несколько опытных участков в различных природно-климатических условиях с различной интенсивностью движения поездов. Как первый, так и второй способы являются: а) дорогостоящими; б) требующими нескольких лет наблюдений, что недопустимо, т.к. делает неактуальным

предлагаемое решение. Если сравнивать эффективность исследований на центрифуге с постановкой наблюдений на натуральных объектах, то она выше последних в 10 – 15 раз. Изучение одного объекта (например, осадок насыпей) может быть выполнено в течение 10 – 12 часов, а натурные наблюдения потребуют 10 – 12 лет [3].

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРЕДЛАГАЕМОЙ МЕТОДИКИ

Работы таких ученых, как Н.А. Наседкин, Г.И. Покровский, Н.И. Давыденков, И.С. Федоров, Р.В. Буки и др. [2] показали, что адекватной заменой натурному эксперименту является эксперимент на физической модели, подвергаемой интенсивному воздействию на центробежной установке.

Для проведения таких испытаний изготавливается физическая модель, эквивалентная натурному объекту. Модель нагружается на центробежной установке силой, в  $n$  раз превышающей силу гравитации Земли, и фиксируется скорость нарастания деформаций и их величина. Понятно, что по последним двум показателям легко оценить затраты на текущее содержание.

Следует отметить, что согласно [1], максимальный масштаб моделирования  $n^{\max}$ , который может быть реализован на машине МИИТа, определяется следующим образом:

максимальное число оборотов машины  $N_{\max} = 340$  об/мин;

соответствующая им угловая скорость (1/с) составит

Тогда

$$n^{\max} = \sqrt{35,6^4 \cdot \frac{2,5^2}{9,81^2} + 1} = 322.$$

$$\omega_{\max} = \pi \cdot \frac{N_{\max}}{30} = 3,14 \cdot \frac{340}{30} = 35,6.$$

Минимально допускаемые масштабы моделирования  $n^{\min}$  определяются уровнем принятых допустимых неточностей в зависимости от размеров кареток и моделей и рассчитываются по следующей формуле:

$$n^{\min} = \frac{H_0}{H} = \frac{H_0}{R \cdot \alpha} \quad (1),$$

где  $H_0$  – высота сооружения в натуре (прототипа);

$H$  – высота модели;

$R$  – эффективный радиус вращения каретки;

$$\alpha = \frac{H}{R} \quad \text{– уровень ошибки}$$

моделирования (для моделирования сооружений разной высоты принят в 0.5 – 5%).

Например, при высоте насыпи  $H = 10$  м и уровне ошибки моделирования  $\alpha = 0,95$ , минимальный масштаб моделирования составляет  $n^{\min} = 80$  [3, табл. 2.5].

Основным материалом моделирования транспортного объекта (земляного полотна) является грунт. Для описания состояния грунта в тех или иных условиях применяются соответствующие теории и модели грунта в виде упругого тела Гука, пластических тел Сен-Венана и Прандтля, вязкого тела Ньютона, упругопластичного тела Гука и Сен-Венана, упруговязких тел Максвелла, Фойгта, Кельвина, Бюргера, упруговязкопластичных тел Бингама-Шведова и других более сложных тел [1]. Однако применение этих теорий и соответствующих моделей грунта является оправданным при исследовании отдельных явлений и процессов, происходящих в грунте и становится затруднительным при рассмотрении состояний объекта – инженерного сооружения из грунта как единого со всей совокупностью работающих совместно с ним устройств (с учетом геометрической формы объекта и этих устройств, а также возможной разнородности их материалов) и изменяющихся во времени внешних и внутренних факторов, влияющих на это состояние, а также сопротивляемости им.

В связи с этим прогностическая оценка состояния объекта как единого целого, в том числе и с использованием метода центробежного моделирования, априорно должна базироваться на теории, позволяющей давать некоторую обобщенную интегральную оценку этому состоянию.

Такая оценка может быть сделана, если исходить из основных понятий теоретической физики и использовать конкретные представления системных теорий физики, в которых физические величины (характеристики) ставятся в соответствие не

точкам, а пространственно протяженным системам, т.е. они являются функциями одного лишь времени.

Системный подход сохраняет теоретическое содержание проблемы (в нашем случае проблема состоит в реализации возможности прогнозирования деформативности земляного полотна как единого целого) и вместе с тем выдвигает задачу синтезирования различных представлений об одном и том же объекте, различных «срезов» этого объекта. Он позволяет выделить главное в характеристике состояния объекта, давать наиболее общую оценку этому состоянию. При этом, безусловно, исследователь выявляет нечто качественно новое, что не может быть выявлено при использовании других методов, изучающих частные процессы в объекте.

В любом явлении или объекте и тем более сложном что-то проявляется и познается в каждом отдельном свойстве, но остается еще нечто в общем и целом, что не может быть познано путем изучения отдельных свойств и процессов; это нечто определяется поведением всей системы.

В рассматриваемом случае объект моделирования как систему в самом общем виде в работе [1] предлагается описывать совокупностью множеств

$$\{T, \tau, U, \Sigma, D, \{U_t\}, \{\Sigma_t\}, \{d_{u,\sigma}\}, \{\overline{d_{u,\sigma}}\}\}, \quad (2)$$

где  $T$  – время;

$\tau$  – период времени;

$U$  – пространство входных аргументов, характеризующих внешние и внутренние факторы, влияющие на состояние собственно инженерного сооружения;

$\Sigma$  – характеристика состояния, включающая характеристики сопротивляемости внешним и внутренним факторам;

$D$  – пространство результатов, выходной аргумент.

Моделирование позволяет получать практический эксперимент, когда результаты прямого эксперимента – деформации пересчитываются в объемы работ по текущему содержанию и их трудоемкость, что позволяет оценить строительные и эксплуатационные затраты, обеспечивающие непревышение эксплуатационными затратами определенного в проекте максимума и на основе этого получить интегральную оценку целесообразности применения такой

конструкции. Общее время моделирования в настоящем не превышает двух часов и деформации насыпи (без приложения к ней статической или динамической нагрузки) являются осадкой от ее собственного веса в строительный период.

Если вопросы построения физических моделей исчерпывающе разработаны в трудах Г.М. Шахунянца, Т.Г. Яковлевой, В.В. Виноградова, Д.И. Иванова, М. Mikasa, B.V.S. Wiswanadham, D. König [3], то пересчет величин деформаций и их первой производной – скорости – в эксплуатационные затраты является новым подходом при решении конкретных задач центробежного моделирования.

## РЕЗЮМЕ

Методика позволяет по скоростям нарастания деформаций определить, насколько часто деформации будут выходить за допустимые границы. Следующим этапом является разработка технологических процессов по сведению этих отклонений в нулевое или запроектированное положение, и определение объемов работ для каждой операции по величинам деформаций и геометрическим характеристикам объекта.

Деформация объекта состоит из двух составляющих. Первая отражает общую деформацию объекта и с течением времени затухает, вторая представляет собой деформацию части объекта, подвергнувшегося ремонтным операциям. Она соответствует относительным деформациям объекта в начальный период его эксплуатации и, уменьшаясь к концу межремонтного срока, опять начинает нарастать после ремонта – т. е. имеет пилообразный характер. Уточнение характеристик этого процесса производится путем исследования физической модели объекта на центрифуге, в ходе которого определяются деформации с использованием методики, разрабатываемой кафедрами «Организация, технология и управление строительством» и «Путь и путевое хозяйство» МИИТа.

## ЛИТЕРАТУРА:

[1] Яковлева Т.Г., Иванов Д.И. Моделирование прочности и устойчивости железнодорожного полотна.- М.: Транспорт, 1980.-255с.

[2] Покровский Г.И., Федоров И.С.

Моделирование прочности грунтов. - М.-Л.: Госстройиздат, 1939.-144 с.

[3] Тема № 95н/02. Шифр 10.1.131.7 ЦП. Отчет НИР «Разработка центробежной установки и методики моделирования работы земляного полотна в различных условиях эксплуатации» по теме: «Анализ зарубежного

опыта по устройству геотехнических центробежных установок и навесного оборудования для моделирования. Разработка технического задания и конструкторской документации на установку центробежного моделирования». М.: МИИТ, - 2002.

## **USING CENTRIFUGAL MODELING FOR GIVING PROOF OF CONSTRUCTION TECHNOLOGICAL SOLUTIONS WITH BUILDING TRANSPORT SITES**

**Taisiya Shepitko, Alexandr Cherkasov**

*Prof. Taisiya Vasilievna Shepitko, DSc, , Alexandr Mihailovich Cherkasov, MSc,*  
Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), 15 Ovraztsova Street, Moscow,  
**RUSSIA**

**Abstract:** *The paper presents a method of giving proof of construction technological solutions for linear transport equipment. To assess solutions, a physical model of the transport site has been made, loads of the assumed structure are modeled with the help of centrifuge. According to the quantities and speed of the deformation increase the volume of works for current and planned repairs is defined and on that basis the conclusion of new structure implementation under specified operational conditions is made.*

**Key words:** *structure assessment, centrifugal modeling, suitability for operation.*