

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №2, Том 12 / 2020, No 2, Vol 12 <https://esj.today/issue-2-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/35SAVN220.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Носков И.В., Ананьев С.А. Центробежное моделирование в строительстве // Вестник Евразийской науки, 2020 №2, <https://esj.today/PDF/35SAVN220.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Noskov I.V., Ananyev S.A. (2020). Centrifugal modeling in building construction. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(12). Available at: <https://esj.today/PDF/35SAVN220.pdf> (in Russian)

УДК 624.131.4

ГРНТИ 67.21.17

Носков Игорь Владиславович

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
Заведующий кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: noskov.56@mail.ru

Ананьев Сергей Анатольевич

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
Старший преподаватель «Технология и механизация строительства»
E-mail: ananda_hasita@mail.ru

Центробежное моделирование в строительстве

Аннотация. Современные экономические реалии ставят большие задачи по снижению стоимости строительства и улучшению качества строительного проектирования. Разрешению этих задач может в значительной степени способствовать развитие экспериментальных исследований, в частности центробежного моделирования и широкого его внедрения в практику исследований различных физико-механических процессов в грунтах и сооружений из грунтов. Моделирование различных процессов является общим методом перехода от лабораторного эксперимента к действительности. Оно является одним из основных средств в руках исследователя, делаая возможным распространение результатов одного эксперимента на большое число случаев, выходящих из рамок данного эксперимента. Таким образом, метод моделирования является существенной частью всякого исследования, но он не может заменить собой ни теоретического, ни других видов экспериментального изучения явлений. За последнее время накоплен весьма обширный и разнообразный материал. Центробежное моделирование можно смело применять при расчетах осадок различных насыпей, фундаментов зданий и сооружений, динамических процессов в грунтах, устойчивости земляных плотин с учетом динамических нагрузок и др. Для центробежного моделирования спроектированы и изготовлены наиболее современные установки, оснащенные новейшей измерительной аппаратурой и приборами, получен ряд результатов, полезных и важных для развития строительного проектирования и решения ряда существенных задач строительной механики, фундаментостроения, механики грунтов.

Ключевые слова: центробежное моделирование; проектирование; динамические процессы в грунтах; грунт; фундамент

Идея центробежного моделирования в общем виде высказана французским ученым Э. Филлипсом в 1869 году, а в СССР была детально разработана и применена Г.И. Покровским и И.С. Федоровым в 1932 году [1; 2]. Моделирование с уменьшением масштаба нашло широкое применение. Здесь следует в первую очередь указать на аэродинамику и гидравлику, где за последние десятилетия моделирование применяется с большим успехом. В этом случае успеху моделирования в основном содействовало то обстоятельство, что структура газов и жидкостей не зависит от абсолютных размеров системы. Конечно, для жидкостей такое утверждение не совсем верно. Так, например, образование пены при гидродинамических процессах в значительной мере зависит от масштаба потому, что капиллярные силы при различных размерах системы имеют совершенно различное значение.

Для твердых тел моделирование еще более затруднено влиянием молекулярных сил, определяющих структуру таких тел. Эти силы при различных размерах системы могут иметь совершенно различное значение. Поэтому основной трудностью при моделировании твердых тел является создание подобных структур, а также и некоторых деталей при переходе от природы к модели. Надо признать, что общих принципов решения такой задачи еще не существует, и это является основным препятствием для развития моделирования твердых тел. Поэтому метод моделирования пока приходится применять преимущественно для систем, конфигурация которых достаточно проста, и легко создать материал той или иной структуры.

Прежде всего, необходимо отметить следующее.

Весьма важным положением учения о сопротивлении материалов и строительной механики является то, что сооружения различного масштаба должны быть различным образом сконструированы, чтобы обладать одинаковой прочностью. Вследствие этого без соответствующих коррективов нельзя при исследовании сооружений одного масштаба применять конструкции, разработанные для сооружений другого масштаба. Точно так же испытание прочности сооружений на их моделях должно производиться с учетом влияния масштаба на прочность сооружения. Несмотря на важность и теоретическую бесспорность этого положения, до сих пор оно не освещено достаточно подробно и систематически.

Одной из причин этого следует считать отсутствие простого и практически применимого метода создавать полное подобие прочности при любых масштабах. На данный момент разработан такой метод, который дает возможность экспериментальной проверки различных расчетов, а также возможность исследовать прочность сооружений в зависимости от их масштаба. Излагая этот метод, сравнительно большое внимание уделяем грунтам, что объясняется особой трудностью теоретического расчета прочности сооружений из грунта.

Итак, моделирование с уменьшением масштаба необходимо применять тогда, когда требуется решать весьма сложные задачи воздействия внешних нагрузок на сооружение, состоящее из дисперсных систем и покоящееся на грунтовом основании тоже из дисперсных систем. Это важно, если требуется учесть еще и влияние собственного веса материалов системы.

При моделировании с уменьшением масштаба все линейные размеры сооружения и основание уменьшены в n раз (n – масштаб моделирования).

Если модель изготовлена в n раз меньше натурного сооружения из того же материала, что и натура, и необходимо учесть влияние не только внешних сил, но и влияния собственного веса материала, необходимо применить инерционные силы. Самым удобным для этой цели будут являться центробежные силы. Для этого модель следует подвергнуть вращению на центрифуге. При этом автоматически осуществляется условие: во сколько раз уменьшены линейные размеры модели, во столько раз увеличены объемные силы материала модели.

Если модель изготовлена из того материала, что и натуральное сооружение, то в силу увеличения объемного веса материала в поле действия центробежных сил в идентичных точках модели и натурального сооружения напряжения равны. В этом заключается основная идея центробежного моделирования процессов протекаемых в дисперсных системах, о которых будет идти ниже речь.

Принципы моделирования статических напряжений

Если необходимо моделировать прочность системы, то в первую очередь следует поставить вопрос о напряжениях в различных точках системы.

Рассматриваемые случаи ограничим такими, когда силы, действующие на данные сооружения, зависят от веса частей этого сооружения. Кроме того, примем пока во внимание только задачи статики, т. е. будем считать все силы неизменными во времени [2; 3]. При таких условиях можно тангенциальное и нормальное напряжение σ_0 , действующее в любой точке системы, изобразить в виде следующей функции:

$$\sigma_0 = f(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n; B_1, B_2, B_3, \dots, B_n; H_1\gamma_1, H_2\gamma_2, \dots, H_n\gamma_n), \quad (1)$$

где A_1, A_2, A_3 – отвлеченные параметры (отношения именованных величин, в частности, тригонометрические функции), характеризующие форму системы и не зависящие от ее масштаба;

B_1, B_2, B_3 – те или иные количественные характеристики материалов составляющих систем (например, коэффициент внутреннего трения);

$H_1\gamma_1, H_2\gamma_2$ – произведения каких-либо линейных размеров H , характерных для системы, на объемные веса γ соответствующего материала.

В качестве простого примера функции (1) можно рассмотреть случай давления грунта, состоящего из трех горизонтальных слоев толщиной H_1, H_2 и H_3 с соответственными объемными весами $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$. Эти три слоя вызывают на поверхности подстилающей их породы нормальное напряжение, равное:

$$\sigma_0 = \sum_1^3 H\gamma. \quad (2)$$

Таким образом, путем исключения величин A_1, A_2 и т. д. и B_1, B_2 и т. д. получается очень простое выражение.

При изменении линейных размеров системы, но при полном сохранении геометрического подобия и свойств всех материалов величина σ_0 не будет оставаться постоянной, потому что H_1, H_2 и т. д. подвергнутся изменению.

Вследствие этого напряжение и вызываемая им относительная деформация будут зависеть от масштаба моделирования. Можно было бы легко показать, что при этом уменьшение масштаба всегда ведет к уменьшению σ_0 . Однако это не имеет особого значения в дальнейших рассуждениях более общего характера, поэтому мы на этом останавливаться не будем.

Из сказанного видно, что для достижения равенства напряжений при указанных выше условиях и различных абсолютных размерах систем необходимо, чтобы:

$$H\gamma = const. \quad (3)$$

Другими словами, требуется, чтобы при уменьшении H соответственно увеличивался объемный вес γ материала сооружения. Этого, казалось бы, проще всего можно достигнуть, заменяя более легкий материал более тяжелым. Однако такой путь был бы практически

бесполезным, так как, меняя материал, мы изменили бы не только его объемный вес, но и другие его свойства, что нарушило бы условия полного подобия [4; 5]. Кроме того, пределы, в которых можно было таким путем менять γ , довольно незначительны.

Таким образом, увеличение γ следует осуществить иначе.

Можно написать следующее равенство:

$$\gamma = m_v g, \quad (4)$$

где m_v – масса вещества в единице объема (плотность); g – ускорение силы тяжести.

Величину g можно изменить, вызывая в данной, системе инерционные силы, для этого нужно систему подвергнуть движению с некоторым ускорением i . Тогда получим вектор суммарного ускорения:

$$a = g + i, \quad (5)$$

$$\gamma_a = m_v a, \quad (6)$$

где γ_a – объемная сила, действующая на единицу объема данного материала в суммарном силовом поле инерции и земного тяготения.

Если модель в n раз меньше изображаемого ею сооружения в натуре, то, согласно сказанному, равенство напряжений получится, если:

$$H_\gamma = \frac{H}{n} \gamma_a \text{ или } n\gamma = m_v a. \quad (7)$$

Согласно формулам (5), (6) и (7), имеем:

$$nm_v g = m_v a. \quad (8)$$

Отсюда:

$$a = ng. \quad (9)$$

И это было уже показано выше, на основе формулы (5), иным путем.

Итак, основное правило моделирования (при рассмотренных условиях) состоит в том, чтобы на модель действовали объемные силы, которые превосходили бы силу тяжести во столько раз, во сколько модель меньше действительного сооружения.

Этого легко достигнуть, помещая модель на центрифугу соответствующей конструкции.

Кроме того, если задаться условием, чтобы равнодействующая силы тяжести и центробежной силы были постоянны, не меняясь в течение одного оборота центрифуги, то окажется необходимым поместить ось машины в вертикальном направлении параллельно направлению силы тяжести [6].

Такое устройство оправдало себя на практике, и поэтому дальше мы рассмотрим более подробно все особенности сил, действующих в этом случае.

Все изложенное справедливо в случае, когда для модели взят натуральный материал. Если материал для модели взят иной, чем в натуре, то можно поставить вопрос не о создании в модели напряжений, равных напряжениям в натуре, а о подборе такого материала, который имел бы модуль упругости и временное сопротивление разрушению во столько раз меньше, во сколько модель меньше натуре [7; 8].

В этом случае можно получить, не прибегая к действию центробежных сил (или к иным приемам), соответствие между деформациями и временным сопротивлением разрушению натуре и модели.

Поле сил на центробежной машине

Пусть модель помещена на центрифуге с вертикальной осью. Тогда скалярная величина суммарного ускорения, действующего на данную точку модели, должна равняться:

$$a = \sqrt{g^2 + (\omega^2 R)^2} = \sqrt{g^2 + \omega^4 R^2}, \quad (10)$$

где $\omega^2 R$ – ускорение вращательного движения;

R – расстояние данной точки модели от оси вращения центрифуги;

ω – угловая скорость вращения центрифуги.

Пользуясь формулой (10), нетрудно подобрать угловую скорость вращения ω центрифуги в соответствии с масштабом моделирования.

Из формул (9) и (10) имеем:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{R} \sqrt{n^2 - 1}}. \quad (11)$$

В формулу (9) входит R и это означает, что разные точки модели, расположенные на разных расстояниях от оси вращения центрифуги, должны при одном и том же масштабе моделирования вращаться с разными угловыми скоростями. Однако такое требование практически неосуществимо. Вследствие этого при применении центрифуги должны получиться известные отступления от идеальных условий моделирования. Чтобы учесть эти отступления и по возможности уменьшить вызываемый ими вред, необходимо построить общую картину суммарного силового поля, действующего на модели при вращении центрифуги.

Всякое силовое поле характеризуется, во-первых, направлением силовых линий и, во-вторых, распределением эквипотенциальных поверхностей, перпендикулярных силовым линиям [9].

Уравнение силовой линии в данном случае можно получить следующим образом. Как известно, силовая линия в любой заданной точке силового поля имеет касательную, совпадающую с направлением действия сил. Применим прямоугольную систему координат, вращающуюся вместе с центрифугой. Пусть начало координат лежит на оси вращения центрифуги, и последняя совпадает с осью y .

Тогда можно написать следующее дифференциальное уравнение силовой линии:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{\omega^2 x}{g}. \quad (12)$$

Интегрируя уравнение (12), получаем:

$$\ln x = \frac{\omega^2}{g}(y + c), \quad (13)$$

где c – постоянная интегрирования.

Меняя c , получаем систему кривых, лежащих в плоскости оси вращения центрифуги. Проводя через ось вращения центрифуги ряд таких плоскостей, получим общую картину суммарного силового поля. Сечения этого поля вертикальной и горизонтальной плоскостями даны на рисунке 1, где показаны также и эквипотенциальные поверхности. Уравнения линий, получающихся от пересечения этими поверхностями вертикальных плоскостей, проходящих через ось вращения центрифуги, получить весьма просто. Для этого нужно лишь принять во внимание взаимную перпендикулярность силовых линий и эквипотенциальных поверхностей.

Из этого условия и формулы (10) следует, что для эквипотенциальных поверхностей:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\omega^2 x}{g}. \quad (14)$$

Интегрируя (14), находим

$$x^2 = \frac{g}{\omega^2} (y + c_1), \quad (15)$$

где c – постоянная интегрирования.

Выражение (12) есть уравнение параболы. Таким образом, эквипотенциальные поверхности в рассматриваемом случае являются параболами вращения, ось которых совпадает с осью вращения центрифуги. По таким эквипотенциальным поверхностям должны располагаться уровни жидкости, равномерно вращающейся около данной оси. Кривые, соответствующие формуле (15), также приведены на рисунке 1.

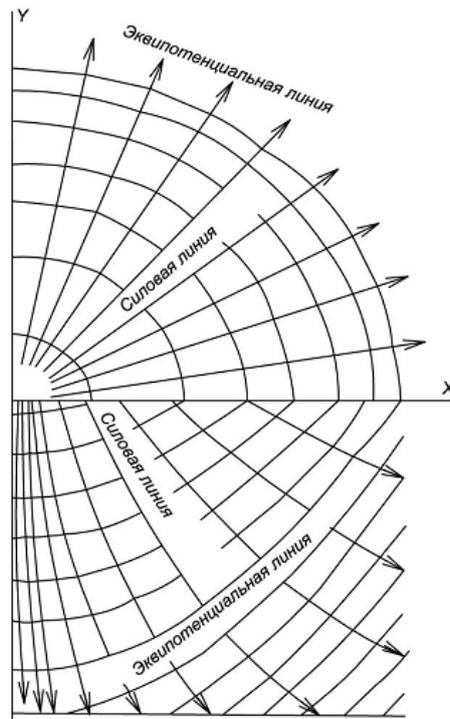


Рисунок 1. Сечение суммарного силового поля вертикальной и горизонтальной плоскостями (в верхней части рисунка направление силы тяжести горизонтально) (разработано автором)

Рассматривая рисунок 1, легко видеть, что полученное суммарное силовое поле неоднородно, т. е. силовые линии и эквипотенциальные поверхности не параллельны. Между тем силовые линии и эквипотенциальные поверхности в поле силы тяжести даже для самых больших сооружений можно считать параллельными и поле вполне однородным.

В этом различии силовых полей и заключается причина невозможности точного моделирования посредством центрифуги, но тем не менее, получающиеся неточности могут быть сделаны достаточно малыми.

Рассмотрим, как зависит величина ошибки в суммарном ускорении от условий моделирования.

Пусть для данной точки модели мы имеем, согласно формуле (10):

$$a = \sqrt{g^2 + \omega^4 R^2}. \quad (16)$$

Для другой точки модели, отстоящей от первой на расстоянии ΔR (по направлению радиуса), можно написать:

$$a + \Delta a = \sqrt{g^2 + \omega^4(R + \Delta R)^2}. \quad (17)$$

Отсюда:

$$\Delta a = \sqrt{g^2 + \omega^4(R + \Delta R)^2} - \sqrt{g^2 + \omega^4 R^2}. \quad (18)$$

При достаточно большом значении ω и R приближенно имеем:

$$\Delta a = \omega^2 \Delta R. \quad (19)$$

Определяя отсюда величину относительной ошибки, находим приближенно (для больших ω и R):

$$\begin{cases} \frac{\Delta a}{a} = \frac{\omega^2 \Delta R}{\omega^2 R} \\ \frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta R}{R} \end{cases}. \quad (20)$$

Это значит, что размеры модели, определяемые величиной ΔR , должны быть малыми по сравнению с расстоянием R от оси вращения центрифуги, на котором помещена модель.

Пусть расстояние между двумя точками на плоскости, перпендикулярной силовой линии в одной из этих точек, равно l . Нетрудно видеть, что в другой точке указанной плоскости силовая линия будет встречать плоскость под углом, отличным от прямого.

Из элементарного геометрического построения следует, что:

$$\operatorname{tg} \Delta \varphi = \frac{l}{R}, \quad (21)$$

где $\Delta \varphi$ – разность между углом встречи силовой линии с плоскостью и прямым углом.

Если $\Delta \varphi$ невелико, то можно написать, что:

$$\Delta \varphi = \frac{l}{R}. \quad (22)$$

Таким образом, размеры модели в направлении l должны быть также незначительны по сравнению с R . Для уменьшения ошибок моделирования необходимо, очевидно, построить очень малую модель или очень большую центрифугу. Однако уменьшение размеров модели имеет свои пределы, определяемые точностью способов изготовления ее, однородностью, вернее колебаниями свойств и величиной части, определяющих структуру применяемых материалов, а также точностью измерительной аппаратуры.

Если допустить, что ошибки наблюдения и колебания самих свойств исследуемого объекта подчиняются закону распределения Гаусса, то средняя относительная квадратичная ошибка наблюдения будет равна:

$$\sigma = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2}, \quad (23)$$

где δ_1 – среднее квадратичное колебание измеряемой величины; δ_2 – средняя квадратичная ошибка рассматриваемого метода измерений.

Применим эту закономерность к измерению напряжений в грунте. В этом случае величина δ_1^2 должна быть обратно пропорциональной числу частиц, определяющих структуру материала и приходящихся на данную площадь (хотя бы на диаграмме соответствующего динамометра).

Поэтому можно написать:

$$\delta_1^2 = \frac{a}{s} (a = \text{const}). \quad (24)$$

Если приведенное соотношение относится к действительному сооружению, то для модели, в n раз меньшей действительного сооружения, имеем

$$\delta_1^2 = \frac{an^2}{s}. \quad (25)$$

Поэтому:

$$\delta = \sqrt{\frac{an^2}{s} + \delta_2^2}. \quad (26)$$

Если для примера допустить, что метод измерения разработан так, что:

$$\frac{a}{s} = \delta_2^2. \quad (27)$$

Что считается вполне удовлетворительным, тогда:

$$\delta = \delta_2 \sqrt{n^2 + 1}. \quad (28)$$

Или при больших значениях n :

$$\delta = \delta_2 n. \quad (29)$$

Таким образом, ошибки наблюдений должны расти пропорционально масштабу моделирования.

Ниже мы рассмотрим вопрос о моделировании статических колебаний, пока же на основании вышесказанного можно утверждать, что значительное уменьшение размеров модели невозможно.

Следует отметить, что при увеличении размеров центрифуги стоимость ее очень быстро растет. Сравнивая несколько проектов подобного рода машин, приближенно можно считать их стоимость пропорциональной третьей степени линейных размеров машины, т. е. пропорциональной ее объему. С другой стороны, при уменьшении размеров увеличиваются ошибки наблюдений, что требует увеличения числа опытов и удорожает эксплуатацию машины.

Принимая во внимание возможные конструкции машины, разные условия ее монтажа, едва ли можно в общем виде определить ее оптимальные размеры. Однако на основании имеющегося опыта можно считать, что наиболее целесообразные размеры при диаметре вращающейся части – от 4 до 6 метров.

Выше были рассмотрены искажения, имеющие место при статическом состоянии системы. Если же на вращающейся модели в свою очередь происходят те или иные движения, то необходимо также учесть значение ускорения Кориолиса. Это ускорение, как известно, возникает во вращающейся системе. Оно перпендикулярно проекции скорости v_0 перемещения данной точки на плоскость, перпендикулярную оси вращения. В первом приближении это ускорение равно:

$$a_k = 2\omega v_0. \quad (30)$$

Относительная ошибка, вызываемая этим ускорением, равна:

$$\frac{a_k}{a} = \frac{2\omega v_0}{R\omega^2}. \quad (31)$$

$$\frac{a_k}{a} = \frac{2v_0}{R\omega}. \quad (32)$$

Из формулы (29) видно, что чем больше ω и R , тем соответствующая ошибка меньше. При обычно принимаемых значениях ω и R величина становится заметной только в случае большого значения v_0 .

Действительно, пусть $R = 1$ метр; $\omega = 30$ м/сек и $\frac{a_k}{a} = 0,1$.

Тогда по формуле (31) $v_0 = 1,5$ м/сек.

Из этого примера видно, что относительно медленно протекающие пластические деформации различных материалов и в частном случае грунтов не могут вызвать достаточно больших сил Кориолиса.

Наоборот, быстрые движения при разрушении модели могут сопровождаться значительными искажениями. Поэтому центробежное моделирование пригодно для исследования статических или почти статических распределений напряжений и деформаций.

Случаи, описываемые далее, относятся именно к этим категориям. Моделирование же самой «катастрофы», т. е. разрушения модели, осуществляется, как видно из вышесказанного, с искажениями.

Исключение составляют лишь опыты по моделированию удара и взрыва. В этих случаях скорости получаются столь значительными, что значение центростремительного ускорения и ускорения Кориолиса на них сказывается мало.

Действительно, под влиянием ускорения Кориолиса всякое тело, двигаясь в плоскости вращения по инерции, описывает дугу окружности с радиусом R_k .

Из соотношения:

$$a_k = \frac{v_0^2}{R_k}. \quad (33)$$

Имеем:

$$R_k = \frac{v_0^2}{a_k}. \quad (34)$$

Или, согласно формуле (29):

$$R_k = \frac{v_0}{2\omega}. \quad (35)$$

Отсюда:

$$v_0 = 2\omega R_k. \quad (36)$$

Если, как и в предыдущем примере, $R_k = 1$ метр, $\omega = 30$ м/сек, то $v_0 = 60$ м/сек.

Таким образом, при скоростях примерно больше 60 м/сек значения R_k становятся столь значительными, что практически не влияют на результат опыта. В этих условиях «запрещенной» зоной скоростей является область $1,5 > v_0 > 60$ м/сек. При подавляющем большинстве явлений удара и взрыва скорости существенно больше полученного верхнего предела.

Выводы

1. Центробежное моделирование в строительстве развивается, и в будущем способно заменить многие из существующих традиционных технологий моделирования. Применение данной технологии моделирования имеет широчайший спектр применения

(расчеты осадок различных насыпей, фундаментов, динамических процессов в грунтах, устойчивости земляных плотин с учетом динамических нагрузок и др.).

2. Выбор подходящих размеров машины для центробежного моделирования представляет сложную технико-экономическую проблему. Ее неправильное решение привело к двум неудачам. В первом случае была построена столь малая машина (диаметром менее 0,5 м), что серьезных количественных измерений на ней нельзя было осуществить.

Во втором случае была запроектирована столь громоздкая установка (диаметром 10 м), что ее до сих пор, даже после признания и проверки ценности моделирования на центрифуге, построить затруднительно.

3. Сегодня основным сдерживающим фактором распространения центробежного моделирования остается недостаточная изученность его применения для моделирования грунтовых основания и фундаментов зданий и сооружений в различных инженерно-геологических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Покровский Г.И. Центробежное моделирование в строительном деле / Г.И. Покровский, И.С. Федоров. – Москва: Стройиздат, 1968. – 247 с.
2. Покровский Г.И. Центробежное моделирование в горном деле / Г.И. Покровский, И.С. Федоров. – Москва: Стройиздат, 1969. – 272 с.
3. Кузнецов Г.Н. Моделирование проявлений горного давления / Г.Н. Кузнецов, М.Н. Будько, Ю.И. Васильев и др. – Ленинград: Недра. Ленингр. отд-ние, 1968. – 279 с.
4. Сулейманов И.А. Применение центробежного моделирования для изучения деформаций лессовых грунтов. – В сб.: Вопросы строительства гидротехнических сооружений на просадочных грунтах. – Баку: изд. АзНИИГИМ, 1969. – 245 с.
5. Рамберг Х., Моделирование деформаций земной коры с применением центрифуги, пер. с англ. – М., 1970. – 224 с.
6. Насонов И.Д. Моделирование горных процессов. М.: Недра, 1978. – 204 с.
7. Яковлев Т.Г., Иванов Д.И. Моделирование прочности и устойчивости железнодорожного полотна. – М.: Транспорт, 1980. – 255 с.
8. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. – М.: Наука, 1997 – 320 с.
9. Чуличков А.И. Математические модели нелинейной динамики. – М.: Физматлит, 2003 – 296 с.

Noskov Igor Vladislavovich

Polzunov Altai state technical university, Barnaul, Russia
E-mail: noskov.56@mail.ru

Ananyev Sergei Anantolevich

Polzunov Altai state technical university, Barnaul, Russia
E-mail: ananda_hasita@mail.ru

Centrifugal modeling in building construction

Abstract. Modern economic realities pose great challenges to reduce the cost of construction and improve the quality of construction design. The development of experimental research, in particular centrifugal modeling and its wide introduction into the practice of research of various physical and mechanical processes in soils and structures from soils, can greatly contribute to the resolution of these tasks. Modeling different processes is a common method of transitioning from laboratory experiment to reality. It is one of the main means in the hands of the researcher, making it possible to extend the results of one experiment to a large number of cases coming out of the framework of this experiment. Thus, the modeling method is an essential part of any study, but it cannot replace either theoretical or other types of experimental study of phenomena. Recently, a very extensive and diverse material has been accumulated. Centrifugal modeling can be boldly used in calculations of settlements of various fills, foundations of buildings and structures, dynamic processes in soils, stability of earth dams taking into account dynamic loads, etc. For centrifugal modeling the most modern installations equipped with the latest measuring equipment and instruments have been designed and manufactured, a number of results have been obtained, useful and important for the development of construction design and solving a number of essential tasks of construction mechanics, foundation construction, soil mechanics.

Keywords: centrifugal modeling; design; dynamic processes in soils; soil; foundation