

УДК 624

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ И РАЗМЕРНОСТЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ВРАЩЕНИЯ ФРЕЗЕРНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА В СРЕДЕ ГЛИНИСТОГО ТИКСОТРОПНОГО РАСТВОРА

Кадыров А.С., Жунусбекова Ж.Ж., Смагина В.С., Жумабаев Б.С.

Казахстанский государственный технический университет, Караганда, e-mail: verosm@mail.ru

Применяемый в области строительства способ устройства подземных сооружений называемый методом «стена в грунте» и применяемый для его реализации глинистый раствор, оказывает существенное влияние на конструкцию землеройного оборудования, применяемого для рытья траншей. В связи с этим для возможности применения рабочих органов фрезерных и буровых машин в среде глинистого раствора, проведено исследование параметров модели системы «рабочий орган – среда». Произведен анализ размерностей и уменьшение количества переменных для проведения экспериментов.

Ключевые слова: фрезерные машины, теория подобия, размерности, стена в грунте, глинистый раствор, классический эксперимент, многофакторный эксперимент

METHODS OF THE THEORY OF SIMILARITY AND DIMENSIONS IN MODELING THE PROCESS ROTATION TENON WORKING IN A MEDIUM BODY CLAY THIXOTROPIC SOLUTION

Kadyrov A.S., Zhunusbekova Z.Z., Smagina V.S., Zhumabaev B.S.

Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: verosm@mail.ru

Used in the construction of underground structures, a device called the method of «slurry wall» and used for its implementation mud, has a significant impact on the design of earth-moving equipment used for digging trenches. In this regard, the possibility of applying for the working bodies of milling and drilling machines in the environment of the mud, a study of the model parameters of the «working body – environment». The analysis of the dimensions and reducing the number of variables for the experiments.

Keywords: milling machine, similarity theory, dimension, slurry wall, clay mud, classical experiment multivariate experiment

Использование в строительстве новейшей техники и технологических методов позволит интенсифицировать и повысить надежность данного процесса.

Изобретение новой техники, методов ее применения и эксплуатации, а также ее усовершенствование, напрямую зависит от уровня теоретических и экспериментальных исследований и возможного периода внедрения их в производство.

Цель исследования. Сопротивление вращению фрезерного рабочего органа в среде глинистого раствора при разработке узких траншей устанавливается экспериментальным путем. Это объясняется присутствием глинистого раствора с тиксотропными свойствами. В связи с этим статья направлена на разработку уточненной методики экспериментального исследования нагружения фрезерного рабочего органа в среде глинистого тиксотропного раствора.

Материалы и методы исследования. Улучшение эргономических показателей и повышение конкурентоспособности заключается в совершенствовании машин путем улучшения их эксплуатационных свойств, ремонтпригодности и технического обслуживания. При этом решаются следующие вопросы: создание конструкций, требующих значительно меньшего объема работ по тех-

ническому обслуживанию; использование оборудования с централизованной смазкой и управлением от бортовой ЭВМ; разработка конструкций, обеспечивающих легкий доступ к узлам; модульное, агрегатно-узловое конструирование машин; обеспечение группового сервиса путем сосредоточения оборудования и систем, требующих частого обслуживания в одном легкодоступном месте; использование узлов встроенными диагностическими системами [1, 2].

Повышение функциональных свойств машин и совершенствование РО связано с усовершенствованием методов воздействия на грунт и новых способов разработки грунта с применением дополнительных физических эффектов и химических соединений, являющихся результатом исследований в области фундаментальных наук.

Большое значение приобретает применение новых эффектов для интенсификации процессов копания путем снижения сил трения грунта об инструмент. Другой важный вопрос – это исследования по использованию достижений газо- и гидродинамики для интенсификации разрушения и перемещения материала, горных пород и грунтов. В нашем случае, обусловлено применением глинистого тиксотропного раствора.

В мировой практике известны многочисленные примеры успешного применения способа «стена в грунте» при возведении массивных зданий и подземных сооружений в непосредственной близости от существующих зданий, эксплуатация которых не прерывалась при выполнении строительных работ.

Суть метода «стена в грунте» заключается в создании глубокой узкой траншеи с вертикальными гранями, которая впоследствии заполняется материалом с нужными свойствами, получая стену в грунте. Главная задача при этом – обеспечение устойчивости граней траншеи при ее выемке и заполнении. Она решается использованием глинистого раствора, заполняющего траншею в течение всего процесса возведения стены. Бурение скважин с промывкой глинистым раствором, обеспечивающим устойчивость стенок скважин практически в любых породах [4].

Глинистый раствор оказывает существенное влияние на конструкцию землеройного оборудования, применяемого для рытья траншей. Оно должно в ряде случаев работать в растворе с повышенным содержанием измельченного грунта так, чтобы этот грунт не налипал на захватный или режущий элемент рабочего органа. Траншеекопатель должен обеспечить разработку и удаление грунта из траншеи и иметь возможность перемещаться в плане в соответствии с ее конфигурацией. Этим требованиям в большей или меньшей степени удовлетворяет оборудование, используемое в зарубежной и отечественной практике строительства [4].

Актуальным является универсальность, достигаемая путем возможности применения на базовой землеройной машине большого спектра рабочих органов.

Данная проблема неразрывно связана с необходимостью создания определенных методик, позволяющих исследовать параметры землеройных машин и их рабочих органов, создавать модели и проводить эксперименты в короткие сроки. Исследования должны охватывать спектр основных направлений развития, таких как совершенствование эффективности и функциональности рабочих органов, повышение надежности и конкурентоспособности проектируемого объекта, возможности его использование в стесненных условиях при минимальных финансовых и временных затратах.

При исследовании рабочего процесса строительства способом «стена в грунте», описание модели «рабочий орган – среда», значительно отличается от стандартной модели процесса резания грунта рабочим органом. Исследования о резании грунтов, проводимые такими учеными как: О.Д. Али-

мов, А.И. Барон, В.И. Воздвиженский, В.Л. Кутузов, И.А. Остроушко, А.П. Суханов, Е.П. Терехин, В.В. Харченко и другие, не учитывали особенности влияния на грунт и рабочий орган землеройной машины глинистого тиксотропного раствора.

Благодаря исследованиям профессора Кадырова А.С., недостатки этих теорий были устранены, путем разработки методики исследования рабочего процесса фрезерных и буровых машин в среде глинистого раствора [5]. Проведенные им теоретические и экспериментальные исследования позволяют представить процесс разработки грунта при строительстве способом «стена в грунте» в полном объеме.

В исследованиях Кадырова А. С. учтены такие немаловажные факторы как: удельные силы сопротивления подачи и вращению долота установленные для грунтов I–IV категории, влияние глинистого раствора на грунт, глубина забоя, характер движения РО, скорость фильтрации раствора в грунт [5].

На основании теоретических исследований, для получения эмпирических данных, Кадыровым А.С. был разработан стенд СМФ – 2 и проведен эксперимент, определяющий опытные зависимости вращения фрезерного рабочего органа в глинистом тиксотропном растворе. Основными параметрами физической модели «рабочий орган – среда» были следующие величины: диаметр фрезерного рабочего органа D м, длина L м, число резцов i , шероховатость Δh , кинематическая вязкость раствора η стокс и предельного касательного напряжения сдвигу τ_0 Н/м², угловая скорость вращения рабочего органа ω [5].

В результате эксперимента были получены зависимости крутящего момента от объема рабочего органа – рис. 2, диаметра фрез – рис. 3, гамовского и псевдоламинарного режимов движения глинистого раствора – рис. 5 [5].

Эксперимент планировался классическим планом, соответственно один из параметров варьировался, а значения других оставались средними [5].

Учитывая большое количество изменяемых параметров, классический план эксперимента становится довольно сложным и громоздким при его реализации. Появляется необходимость длительных вариаций параметров и усложняется обработка экспериментальных данных. В данном случае, для разработки уточненной методики проведения экспериментального исследования, возможно применение методов теории подобия и размерностей. Применение теории подобия и размерностей позволит уменьшить количество переменных в эксперименте и значительно его упростить.

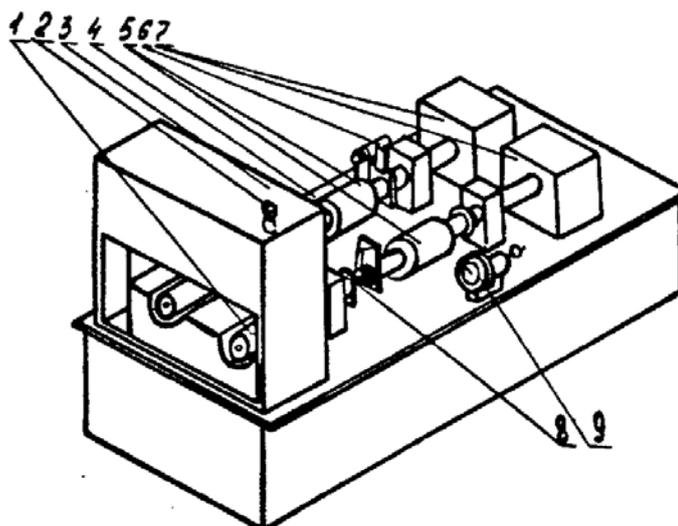


Рис. 1. Схема станда СМФ – 2:

1 – выход на испытываемый рабочий орган; 2 – тензометрический датчик давления; 3 – герметичная камера, наполняемая раствором; 4 – основание станда; 5 – токосъемные устройства; 6 – магнитоэлектрические датчики частоты вращения; 7 – привод вращения постоянного тока; 8 – измерительные валы; 9 – тахометр

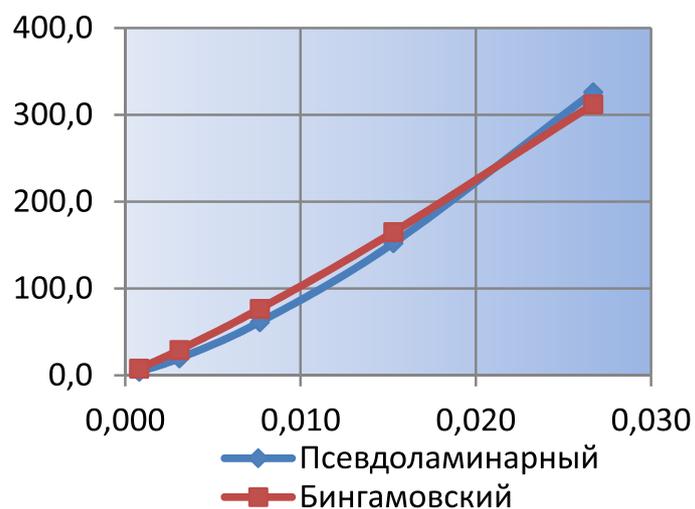


Рис. 2. Зависимость крутящего момента от объема рабочего органа

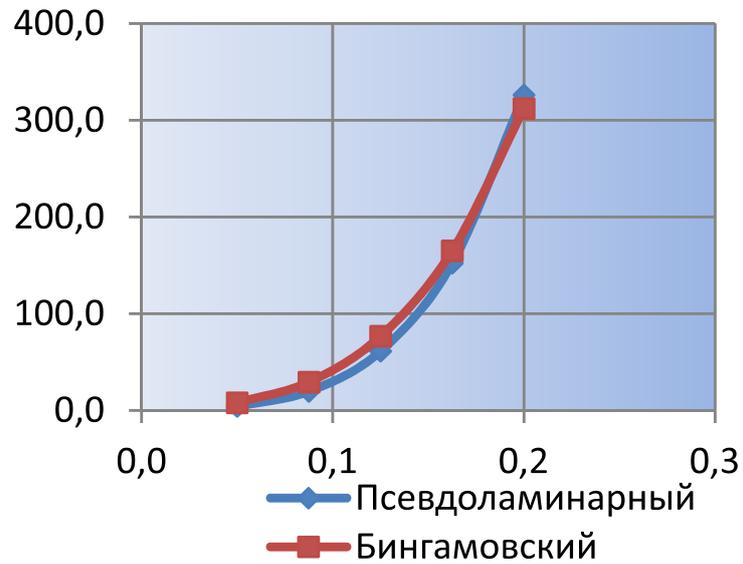


Рис. 3. Зависимость крутящего момента от диаметра рабочего органа

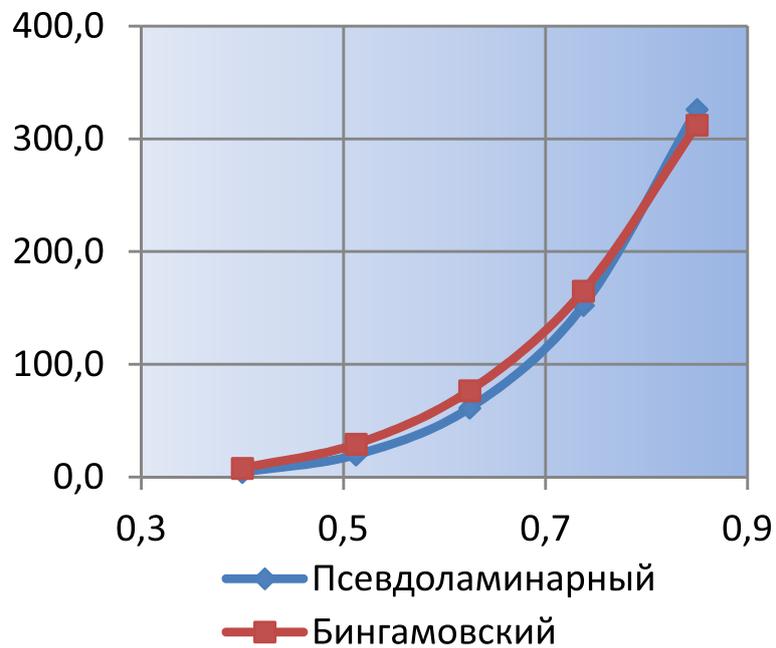


Рис. 4. Зависимость крутящего момента от длины рабочего органа

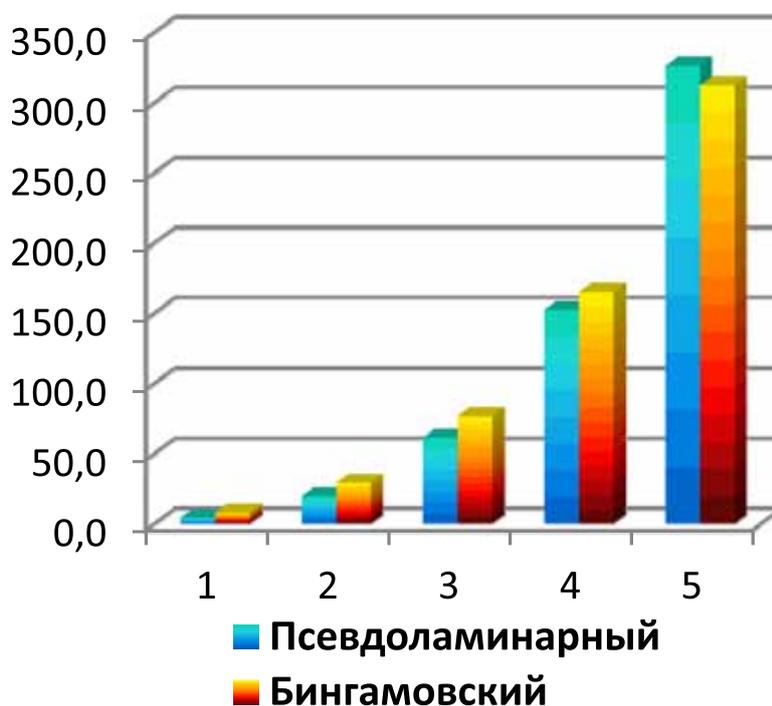


Рис. 5. Сопоставление Бингамовского и псевдоламинарного режимов движения глинистого раствора

В данном вопросе, при проектировании моделирования, уместно применять теорию подобия и размерностей. Теория подобия и размерностей представляет интерес и является основным направлением в изучении таких ученых как Баловнев В.И., Семенов Л.И., Веников В.А.

Для полноценного описания нагружения рабочего органа землеройной машины, необходимо сначала разбить его на множество элементарных составных частей и определить их нагружение в отдельности, учитывая кинематические и динамические характеристики движе-

ния и геометрические параметры рабочего органа.

Для определения параметров влияющих на вращение фрезы в глинистом тиксотропном растворе используем теорему Букингема для решения размерных систем. Исследуя размерности переменных, характеризующих исследуемую систему «рабочий орган – среда», зависимости выражаем через основные величины системы СИ: массу M , времени t и длину L . В таблице приведены величины и их формулы, описывающие процесс вращения фрезерного РО в глинистом тиксотропном растворе.

Допустим теперь, что между этими величинами существует следующее соотношение:

$$F(D^\alpha, L^\beta, \rho^\gamma, \mu^\phi, \Delta h^i, \omega^k, \tau^f, P^n, g^e) = F_c, \quad (1)$$

где F_c – сила сопротивления движению фрезерного рабочего органа в среде глинистого тиксотропного раствора.

Вместо символов подставляются размерности из таблицы:

$$F[L^\alpha, L^\beta, (M \cdot L^{-3})^\gamma, (M \cdot L^{-1} \cdot t^{-1})^\phi, L^i, (t^{-1})^k, (M \cdot L^{-1} \cdot t^{-2})^f, (M \cdot L^{-1} \cdot t^{-2})^n, (L \cdot t^{-2})^e] = F_c. \quad (2)$$

Переменные описывающие процесс вращения фрезерного РО
в глинистом тиксотропном растворе

| № п/п | Название переменной | Обозначение | Формула размерности | Единица измерения |
|-------|--------------------------------------|-------------|-------------------------------|--|
| 1 | Диаметр РО | D | L | м |
| 2 | Длина РО | L | L | м |
| 3 | Плотность глинистого раствора | ρ | $M \cdot L^{-3}$ | $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ |
| 4 | Вязкость глинистого раствора | μ | $M \cdot L^{-1} \cdot t^{-1}$ | $\frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} = \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$ |
| 5 | Шероховатость РО | Δh | L | м |
| 6 | Угловая скорость вращения РО | ω | t^{-1} | $\frac{1}{\text{с}}$ |
| 7 | Касательное напряжение сдвига грунта | τ | $M \cdot L^{-1} \cdot t^{-2}$ | $\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}^2}$ |
| 8 | Давление глинистого раствора на РО | P | $M \cdot L^{-1} \cdot t^{-2}$ | $\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}^2}$ |
| 9 | Ускорение свободного падения | Δg | $L \cdot t^{-2}$ | $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ |

Чтобы данное уравнение было однородным относительно размерностей, должны выполняться следующие соотношения между показателями степени:

для M : $1 = \gamma + \varphi + f + n$;

для L : $1 = \alpha + \beta - 3\gamma - \varphi + i - f - n + e$;

для t : $-2 = -\varphi - k - 2f - 2n - 2e$;

Имеем три уравнения с 9 неизвестными. Упростим их, исключив α , k и γ . Тогда:

$$\gamma = 1 - \varphi - f - n;$$

$$\alpha = 4 - \beta - 2\varphi - 2f - 2n - i - e;$$

$$k = 2 - \varphi - 2f - 2n - 2e.$$

Подставляя эти соотношения для показателей степени в формулу (2), получаем

$$F(D^{4-\beta-2\varphi-2f-2n-i-e}, L^\beta, \rho^{1-\varphi-f-n}, \mu^\varphi, \Delta h^i, \omega^{2-\varphi-2f-2n-2e}, \tau^f, P^n, g^e) = F_c. \quad (3)$$

Объединяя члены с одинаковыми показателями степени, легко составить безразмерные комбинации

$$F\left[\left(\frac{L}{D}\right)^\beta, \left(\frac{\mu}{D^2 \rho \omega}\right)^\varphi, \left(\frac{\Delta h}{D}\right)^i, \left(\frac{\tau}{D^2 \rho \omega^2}\right)^f, \left(\frac{P}{D^2 \rho \omega^2}\right)^n, \left(\frac{g}{D \omega^2}\right)^e\right] = F_c \quad (4)$$

Девять первоначальных переменных задачи дают шесть безразмерных комбинаций.

Проанализировав, можно сделать следующие выводы:

Во-первых, безразмерные комбинации

$$\left(\frac{\tau}{D^2 \rho \omega^2}\right) \text{ и } \left(\frac{P}{D^2 \rho \omega^2}\right)$$

и их зависимости будут иметь одинаковый характер и могут быть заменены друг другом. Поэтому для эксперимента, в качестве критерия возможно принять только

$$\left(\frac{\tau}{D^2 \rho \omega^2} \right).$$

Во-вторых, важным параметром модели вращения фрезерного рабочего органа в среде глинситого тиксотропного раствора является вязкость среды. Поэтому следующей безразмерной комбинацией необходимо

принять $\left(\frac{\mu}{D^2 \rho \omega} \right)$.

В-третьих, для соблюдения геометрического подобия и возможности конструирования модели, необходимо принять безразмерную комбинацию $\left(\frac{L}{D} \right)$.

При этом безразмерные комбинации, включающие в себя значение шероховатости фрезы Δh , ускорения свободного падения g оставим постоянным.

Таким образом, имея первоначально девять переменных, произведя анализ размерностей, можно сократить их количество до трех безразмерных комбинаций, являю-

щихся критериями подобия. В случае применения теории подобия и размерностей, становится доступным применение факторных экспериментов, в данном случае эксперимента с матрицей плана 2³.

Выводы

Таким образом, совершенно очевидно, что анализ размерностей позволяет упростить эксперимент, за счет уменьшения числа переменных, снизить время на его проведение и обработку экспериментальных данных. В данном случае становится возможным проведение эксперимента плана 2³.

Список литературы

1. Колесников В.С., Стрельникова В.В. Возведение подземных сооружений методом «стена в грунте». Технология и средства механизации: Учебное пособие. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 1999. – 144 с.
2. Зубков В.М., Перлей Е.М., Раюк В.Ф., Феоктистова Н.В. Подземные сооружения, возводимые способом «стена в грунте». –Стройиздат: Ленинград, 1977. – 200 с.
3. Васильев СВ., Веригин Н.Н., Разумов Г.А., Шержуков В.С. Фильтрация из водохранилищ и прудов. – М.: Колос, 1975. – 185 с.
4. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения Под общей редакцией д-ра техн. наук, проф. Е.А. Сорочана и канд. Энергия, 1971., -200с.
5. Кадыров А.С. Теория и расчет фрезерных и бурильных рабочих органов землеройных машин, применяемых при строительстве способом «стена в грунте»: дис. ... д-ра техн. наук. – М.: МИСИ им. Куйбышева, 1989.