

УДК 69:001.89;624.

Менейлюк Александр Иванович

*Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительного производства
ORCID: 0000-0002-9115-2346*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры (ОГАСА), Одесса

Петровский Анатолий Францевич

кандидат технических наук, профессор кафедры технологии строительного производства, ORCID: 0000-0001-9548-1959

Одесская государственная академия строительства и архитектуры (ОГАСА), Одесса

Борисов Александр Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства, ORCID: 0000-0002-9115-2346

Одесская государственная академия строительства и архитектуры (ОГАСА), Одесса

Бабий Игорь Николаевич

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства, ORCID: 0000-0002-9115-2346

Одесская государственная академия строительства и архитектуры (ОГАСА), Одесса

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СТРУИ В ТВЕРДОМ ПОРИСТОМ ТЕЛЕ

Аннотация. Рассмотрены процессы инъекции раствора в песок с позиции физических явлений. При теоретических исследованиях процесса распространения жидкой фазы в пористой среде актуальным является определение параметров струи, необходимых для нарушения сплошности слоя материала в зоне контакта струи с поверхностью. Этого можно достигнуть с помощью моделирования процесса инъекции в дисперсную среду путем построения геометрического подобия струи инъекции. Установлено, что распределение жидкой фазы в порах твердого тела предполагает, что по мере достижения крайней точки расстояния от инжектора до «конца» струи в предварительно насыщенных водой порах происходит поэтапное изменение скорости инъекционного раствора в зависимости от его начальной скорости истечения и вязкости.

Ключевые слова: физическая модель; жидкость; инъекция; струя; давление

Постановка проблемы

Для определения параметров струи жидкости, необходимых для динамического разрушения слоя пористого материала, необходимо изучить процесс взаимодействия струи с поверхностью частиц твердой фазы. Для оценки этого взаимодействия нужно знать характеристики растекания свободных осесимметричных струй.

Анализ исследований и публикаций

При физическом моделировании инъекции в грунт основополагающим является определение их параметров по характеристикам модели, найденным при ее исследовании [1, 2, 3]. Особенностью физического моделирования является то, что для определения характеристик не требуется математического описания процессов, достаточно лишь иметь представление о механизме (физической природе) явлений, чтобы правильно рассчитать параметры основного объекта по данным испытания его модели [4-6]. Так как при

физическом моделировании физическая природа явлений, протекающих в натурном изделии и модели, одинакова, то по результатам опытов на моделях можно оценивать характер эффектов и количественные взаимосвязи между величинами для натуральных условий [7-9].

Цель работы

Изучение поведения струи инъекции в пористом теле на основе физических моделей. Поиск способов ее управления для прогнозирования ее поведением.

Основное содержание

Изменение длины и давления струи инъекции в твердом пористом материале должно привести к развитию локальных деформаций и, связанных с ними, изменениям геометрических характеристик начальной струи. В свою очередь изменение геометрических характеристик струи предполагает перераспределение углов распространения струи и

скорости в объеме материала и развитие новых (иницированных) локальных деформаций с очередным изменением геометрических характеристик струи. Изменение параметров скорости начальной струи должно привести к изменению распространения ее в объеме материала. В связи с этим представляется важным решения задачи по анализу явлений и процессов, которые происходят при распространении струи в пористом сыпучем материале. При анализе примем следующие допущения и ограничения:

- струя под давлением свободно проходит в материале и приводит к раздвижке частиц его;
- модельный материал рассматривается как пористая система, которая обладает изотропными свойствами и оценивается с позиций непрерывности;
- при изменении геометрических параметров струи не анализируется изменение напряжений и деформаций в окружающем материале;
- не рассматривается струя с небольшим значением скорости истечения.

Поскольку в этом случае вследствие превышения сил межчастичных взаимодействий над силами распространения струи наблюдается ламинарное истечение без разрушения структур материала и как следствие направление истечения происходит в сторону от инжектора и вниз от воздействия сил притяжения. Предположение о способности материала изменять структуру поровых связей при действии на него жидкой фазы, основано на данных о наличии пластической составляющей в общих деформациях строительных материалов при действии внешних нагрузок.

Непрерывность материала, в котором распространяется струя, принята в связи с необходимостью его оценки свойствами, принятыми для сплошной среды. Изменение параметров струи (скорости истечения, давление инжектирования) предполагает перераспределение в окружающей среде напряжений и деформаций, что может привести к увеличению объема занимаемой жидкой фазой. На данном этапе исследований объектом анализа являются процессы, протекающие в объеме материала при воздействии струи жидкости и связанные с ними изменения ее параметров. По данным [10] объемные деформации грунта меньше деформаций жидкой среды при изменении ее агрегатного состояния. В предположении изотропности свойств деформации, вызванные незначительным давлением жидкой фазы, будут одинаковыми и исключены из рассмотрения. Основные параметры струи в материале представлены на рис. 1.

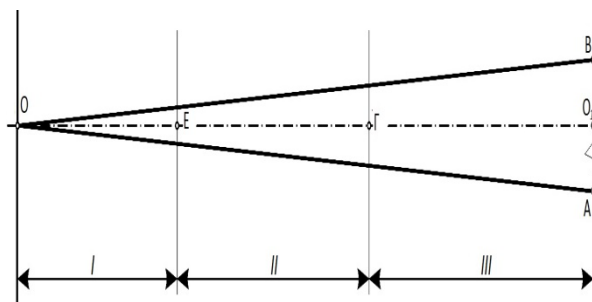


Рисунок 1 – Распространение струи в материале:

- I – участок распространения с наибольшим давлением струи;
- II – участок распространения струи с незначительным уменьшением давления, вследствие возникающих сил трения о поверхность частиц в большем объеме;
- III – участок распространения струи, в котором она оказывает незначительное давление, при этом расширяется в диаметре

Примем, что наибольший объем инъекционная жидкость занимает третью часть длины моделируемой струи. Известно, [11] что при повышенном давлении скорость распространения струи в толще материала формирует фронт уплотненной поверхности. При продвижении фронта изменяется насыщенность жидкой фазы твердыми включениями грунта, что вызывает увеличение его объема. Увеличение объема происходит на участке струи, максимально заполненной твердыми частицами, поскольку сила раздвижки зерен неуплотненного материала меньше, нежели сила трения между слоями жидкой фазы. Анализ начинаем проводить с предположения, что конусообразный объем заполнен жидкой фазой с взвесью. Распределение деформаций в участке модельной струи изучали при помощи графоаналитического метода [12]. При этом принимали, что увеличение объема за определенное время составило 12%. Анализ показал, что скорость струи влияет на геометрию распространения и тем самым оказывает влияние на разность распределения объемных деформаций на различных участках. Давление, которое возникает при наполнении пространства жидкой фазой, передается на внешние границы струи, вызывая ее увеличение на величину $2b(n-1)$. Увеличение концентрации жидкой фазы ведет к увеличению площади участка начальной струи в среднем на 30%. Согласно принятым допущениям, увеличение количества жидкой фазы в полости материала может вызвать два возможных случая дальнейшего развития процессов:

- первый случай связан с увеличением расстояния от оси струи до ее внешних границ, практически, без увеличения ее длины;

– второй случай предполагает увеличение длины струи без значительного увеличения внешних границ струи.

Изменение расстояния от оси до внешних границ может происходить за счет уплотнения структуры в вертикальной плоскости по оси у на границе «жидкая фаза – твердая среда». При такой схеме распространения струи происходит увеличение ее радиуса полюса (в нашем случае радиус полюса увеличился с 5,5 до 6). Для второго случая характерно изменение длины струи без значительного изменения радиуса ее полюса.

Анализ механизмов развития струи при внутреннем давлении показал, что процессы, которые происходят в объеме грунта при инъектировании в условиях увеличения объема занимаемой жидкостью, превращают полость в нестабильный структурный элемент материала грунта. Нестабильность распространения струи связана с увеличением ее диаметра и с уменьшением скорости распространения при удалении от полюса. Это создает неравномерное распределение деформаций и напряжений в окружающем материале, что приводит к изменению радиуса инъекции. Сам факт изменения параметров струи является достаточным условием перераспределения деформаций и напряжений в окружающем материале. Согласно основным положениям гидродинамики, с увеличением расстояния изменяется давление, возникающее в материале. При распространении струи в грунте происходит как внутренне давление на стенки полости, образующиеся в грунте, за счет раздвижки его зерен, так и давление самой толщи грунта на струю. Таким образом, процессы, которые инициируются струей и в струе, провоцируют процессы, которые возникают в материале, в объем которого нагнетается жидкая среда. Это предопределило задачу исследований – анализ механизмов распространения струи при ее воздействии вследствие увеличения объема жидкой фазы. При анализе процессов, которые возникают, принята модель струи в форме клина. Примем, что в результате нагнетания жидкости давление передается на внешние границы струи.

Для изучения влияния давления выходящей струи на перераспределения деформаций и напряжений в пористом материале с моделируемой плоской струей была определена задача изучения влияния давления струи жидкости на поведение материала на физических моделях. Визуальную качественную картину распределения давления, вызванного струей в материале при увеличении объема жидкой фазы, изучали на модели материала со струей при помощи методов фотоупругости. Данный метод изучения распределения деформаций

и напряжений в материале основан на исследованиях научной школы профессора Вырового В.Н. [13]. Была принята плоская модель фрагмента материала со струей, рис.2.

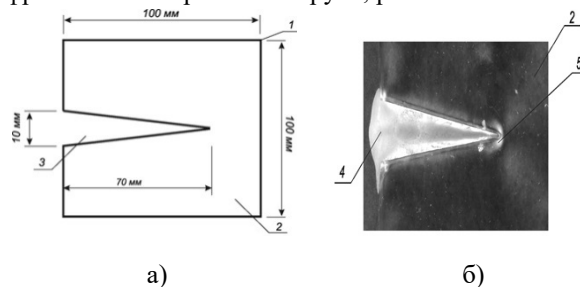


Рис. 2. Визуализация действия струи, моделируемая давлением льда на распределение деформаций и напряжений в модели: а) образец модели; б) модель образца температуре -18°C ;

1 – общий вид модели со струей; 2 – модельный грунт; 3 – струя; 4 – замерзший в материале лед; 5 – интерферентные полосы

Модель была выполнена из эпоксидной смолы типа ЭД-16 с отвердителем ПЭПА. Условная струя создавалась путем заложения имитатора клиновидной формы при формовании модели. Формование моделей происходило одновременно путем их заливки одним и тем же составом эпоксидной смолы с отвердителем. После затвердевания эпоксидной смолы имитатор клиновидной струи извлекался и образовавшийся объем заполнялся водой. Модели помещались в холодильную камеру в которой температура поддерживалась $T=-18^{\circ}\text{C}$. При этой температуре модель выдерживалась в течение одного часа, после чего извлекалась и фотографировались в поляризованном свете. На рис.3.б, представлена качественная картина распределения деформаций и напряжений в сохранившейся модели материала с трещиной.

Анализ распределения интерферентных полос показал, что по мере снижения температуры изменяется характер распределения деформаций в модели. При $T=-18^{\circ}\text{C}$ наблюдается изменение деформаций вдоль внешних границ струи и внутри нее (рис.3.б). По мере снижения температуры происходит такое перераспределение деформаций и напряжений, при которых они начинают концентрироваться у полюса. Наблюдается известное явление [14] релаксации деформаций и напряжений вдоль внешних границ струи с их концентрацией у полюса (О). Интересно отметить, что такой процесс моделирования с помощью образца, выполненного на основе эпоксидной смолы, характеризует не только распределение деформаций в материале, но и отражает сам процесс распространения струи в материале.

Выводы

1. На основании теоретических предпосылок можно заключить, что инъектирования раствора в грунты может осуществляться при постоянных: давлении, расходе и скорости распространения раствора.

2. Общепринятым считается режим, при котором нагнетание раствора осуществляется при постоянном давлении.

3. Решение каждой задачи обуславливает определение радиуса распространения раствора с учетом технологических параметров нагнетания, фильтрационных свойств грунта, плотности и вязкости раствора.

Список литературы

1. Пухов П. П. Некоторые пути повышения производительности при добыче песчано-гравийной смеси / П. П. Пухов, В. В. Королев // Сб. науч. тр. ГИИВТа. – Горький: ГИИВТ, 1973. – № 135. – С. 81 – 86.
2. Камбефор А. Инъекция грунтов / А. Камбефор. – М.: Энергия, 1971. – 333 с.
3. Кострюков В. А. Основы гидравлики и аэродинамики / В. А. Кострюков. – М.: Высшая школа, 1975. – 220 с.
4. Дьячков Ю. А. Моделирование технических систем / Ю. А. Дьячков, И. П. Торопцев, М. А. Черемшинов. – Пенза, 2011. – 239 с.
5. Fernando V. Use of cavity expansion theory to predict ground displacement during pipe bursting / V. Fernando, Ian D. Moore // Pipelines 2002: Beneath Our Feet: Challenges and Solutions. – 2002. – P. 1–11. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.610.9587&rep=rep1&type=pdf>
6. Bearing capacity improvement of loose sandy foundation soils through grouting / T. G. S. Kumar, B. M. Abraham, A. Sridharan, B. T. Jose. // International Journal of Engineering Research and Applications. – 2011. – Vol. 1, Issue 3. – P. 1026 – 1033. – Режим доступа: <http://www.ijera.com/papers/vol%201%20issue%203/XO01310261033.pdf>
7. Collins I. F. Cavity expansion in sands under drained loading conditions / I. F. Collins, M. J. Pender, Y. Wang // International journal for numerical and analytical methods in geomechanics. – 1992. – Vol. 16(1). – P. 3 – 23. – Режим доступа: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/nag.1610160103/full>
8. Головкин С. И. Основы физического моделирования процесса цементации грунта / С. И. Головкин, Н. Е. Шехоркина // Современные проблемы строительства. – Донецк, 2013. – Вып. 16. – С. 53-56.
9. Производство гидротехнических работ: Часть 2. Производство подземных работ и специальные способы строительства / под ред. М. Г. Зерцалова. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2012. – 328 с.
11. Баишта Т. М. Гидропривод и гидроневоматоматика / Т. М. Баишта. – М.: Машиностроение, 1972. – 320 с.
12. Венников В. А. Теория подобия и моделирования / В. А. Венников. – М.: Высш. шк., 1976. – 479 с.
13. Выровой В.Н. Механизм формирования внутренних поверхностей композиционных материалов. / В.Н. Выровой // Применение цементных и асфальтовых бетонов в Сибири: Сб-ник научн. трудов. – Омск: Сиб. АДИ, 1983. – С.3-10.
14. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. – К.: Наукова думка, 1982. – 296 с.

Менейлюк Александр Иванович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительного производства ORCID: 0000-0002-9115-2346
Одесская государственная академия строительства и архитектуры (ОДАБА), Одесса

Петровський Анатолій Францевич

кандидат технических наук, профессор кафедры технологии строительного производства, ORCID: 0000-0001-9548-1959
Одесская государственная академия строительства и архитектуры (ОДАБА), Одесса

Борисов Александр Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства, ORCID: 0000-0002-9115-2346
Одесская государственная академия строительства и архитектуры (ОДАБА), Одесса

Бабин Ігор Миколайович

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства, ORCID: 0000-0002-9115-2346
Одесская государственная академия строительства и архитектуры (ОДАБА), Одесса

УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПОШИРЕННЯ СТРУМЕНЮ У ТВЕРДОМУ ПОРИСТОМУ ТІЛІ

Анотація. Розглянуто процеси ін'єкції розчину в пісок з позиції фізичних явищ. При теоретичних дослідженнях процесу поширення рідкої фази в пористій середовищі актуальним є визначення параметрів струменя, необхідних для порушення цілісності шару матеріалу в зоні контакту струменя з поверхнею. Цього можна досягти за допомогою моделювання процесу ін'єкції в дисперсній середовищі шляхом побудови геометричної подоби струменя ін'єкції. Встановлено, що розподіл рідкої фази в порах твердого тіла передбачає, що в міру досягнення крайньої точки відстані від ін'єктора до «кінця» струменя в попередньо насичених водою порах відбувається поетапне зміна швидкості ін'єкційного розчину в залежності від його початкової швидкості витікання і в'язкості.

Ключові слова: фізична модель; рідина; ін'єкція; струмінь; тиск.

Menelyuk A.I.

DoTS, professor

Petrovsky A.F.

PhD, professor

Borisov A.A.

PhD, assistant professor

Babij I.N.

PhD, assistant professor

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture (OSACEA), Odessa

MANAGEMENT OF SPREAD JET PROCESSES IN SOLID POROUS BODY

Abstract: This article focuses on the process of injection solution in the sand from the point of view of the physical phenomena. During theoretical studies of the propagation of the fluid phase in a porous medium, actual is the definition of the parameters of the jet, necessary for layer material discontinuity in the contact zone of the jet to the surface. It can be achieved through the injection process modeling in a dispersion medium by constructing geometrical similarity of injection jet. It is found that the propagation of the fluid phase in the solid body pores suggests that as they reach the point at the distance from the injector to the "end" of the jet in pores pre-saturated by water occurs a gradual change in injection rate depending on the initial rate of efflux and viscosity.

Keywords: *physical model; liquid; injection; jet; pressure.*

References

1. Kostryukov V. (1975). *Fundamentals of hydraulics and aerodynamics / VA Kostryukov. - M.: Higher School, 220.*
2. *Production of hydraulic engineering works, Part 2: Production of underground works and special construction methods (2012). / ed. MG Zertsalova. - M.: Publishing Association building universities., 328.*
3. Pukhov P., Korolev V. (1973). *Some ways to improve performance in the extraction of sand and gravel. Coll. scientific. tr. GIIVTa. - Bitter: GIIVT., - № 135. - 81 - 86.*
4. Kambefor A. (1971). *Injection of soils - M.: Energia., 333.*
5. Diachkov Y., Toroptsev I., Cheremshan M. (2011). *Modelling technical systems. - Penza. - 239.*
6. Fernando V., Ian D. Moore (2002). *Use of cavity expansion theory to predict ground displacement during pipe bursting Pipelines Beneath Our Feet: Challenges and Solutions. - 1 - 11. - Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.610.9587&rep=rep1&type=pdf>*
7. Golovko S., Shehorkina N. (2013). *Fundamentals of physical modeling of soil cementation process Modern problems of construction. - Donetsk. - Vol. 16. - 53 - 56.*
8. Golovko S., Shehorkina N. (2013). *Improving methods for determining the radius of the injection at the base by strengthening high-pressure grouting Construction, materials science, mechanical engineering: Proc. scientific. tr. - Dnepropetrovsk. - Vol. 67: Starodubovskie reading. - 183-187.*
9. T. G. S. Kumar, B. M. Abraham, A. Sridharan, B. T. Jose. (2011). *Bearing capacity improvement of loose sandy foundation soils through grouting // International Journal of Engineering Research and Applications. - Vol. 1, Issue 3. - 1026 - 1033. - Retrieved from <http://www.ijera.com/papers/vol%201%20issue%203/XO01310261033.pdf>*
10. Collins I., Pender M, Y. Wang (1992). *Cavity expansion in sands under drained loading conditions / I. F. Collins, // International journal for numerical and analytical methods in geomechanics. - Vol. 16(1). - 3 - 23. - Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/nag.1610160103/full>*
11. Basta T (1972). *Hydraulic and gidropnevmoavtomatiki / - M.: Engineering, - 320.*
12. Ivakhnenko A. (1982). *The inductive method of self-organization models of complex systems. - K.: Naukova Dumka, - 296.*
13. *Broken away VN The mechanism of formation of the internal surfaces of composite materials. Application of cement and asphalt concrete in Siberia. (1983). Sat.-nick Scien. works. - Omsk: Sib. ADI,3-10.*
14. Venikov V. (1976) *Theory of similarity and modeling / VA broom. - MA: Executive. WK, - 479.*