

## ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

### Исследования несущей способности моделей фундаментов на песчаном основании

УДК 624.151

**Евтушенко С.И.**

Д-р техн. наук, профессор, почетный работник высшего образования Российской Федерации, советник РААСН, профессор кафедры «Общеинженерные дисциплины» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (г. Новочеркасск), член РОМГиФ;  
e-mail: evtushenko\_s@novoch.ru

Статья получена: 20.07.2018. Рассмотрена: 23.07.2018. Одобрена: 27.07.2018. Опубликовано онлайн: 26.09.2018. ©РИОР

**Аннотация.** В статье приводится обзор экспериментальных исследований, проведенных научной школой механики грунтов Новочеркасского политехнического института с 1962 г. по настоящее время. Исследования несущей способности песчаного основания проводились на моделях ленточных (плоская задача), круглых (осесимметричная задача), столбчатых под отдельную и под сетку колонн.

**Ключевые слова:** модель фундамента, предельная нагрузка, несущая способность основания, песчаное основание, выпор грунта, ленточный, круглый, столбчатый, плитный.

В становлении и развитии Новочеркасской научной школы механики грунтов можно выделить несколько этапов. На первом этапе была создана машина МФ-1, приборы и методика проведения исследований. Руководил этой работой профессор Ю.Н. Мурзенко [1; 2] и рядом с ним стояли его первые ученики З.Я. Тарикулиев [3], К.К. Куликов [4; 5], Г.М. Борликов [6; 7], Э.В. Аринина [8–10] и А.А. Цесарский [11],

которые исследовали контактные напряжения. Совершенствование техники эксперимента позволило второму поколению учеников Ю.Н. Мурзенко изучать изменение компонент напряженно-деформированного состояния в массиве песчаного основания и работы В.В. Ревенко [12–14], В.П. Дыба [15; 16], С.И. Политов [17], Ю.В. Галашев [18; 19], В.В. Шматков [20–22], А.Ю. Мурзенко [23], С.И. Евтушенко [24], Л.В. Краснояруженский [25]. Третий этап связан с исследованиями Г.М. Скибина [26], А.И. Субботина [27], Е.Ю. Анищенко [28], Д.Н. Архипова [29], О.Н. Осиповой [30], Т.А. Крахмального [31], И.В. Чиж [32], И.В. Якименко, с которыми активно работали или полностью руководили ими ученики Ю.Н. Мурзенко.

Моделью основания во всех опытах выбран крупнозернистый песок, так как из опыта в опыт можно получать основание с достаточно близкими характеристиками и обеспечивать повторность опытов с различными моделями при одинаковых начальных состояниях. Грунт

#### STUDY OF THE BEARING CAPACITY OF MODEL FOUNDATIONS ON SANDY GROUNDS

**S.I. Evtushenko**

Doctor of Engineering, Professor, Professor of Department «Industrial and Civil Engineering, Geotechnics and Foundation Engineering», Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI) (Novocherkassk); e-mail: evtushenko\_s@novoch.ru

**Manuscript received:** 20.07.2018. **Revised:** 23.07.2018. **Accepted:** 27.07.2018. **Published online:** 26.09.2018. ©РИОР

**Abstract.** The article provides an overview of experimental studies conducted by the scientific school of soil mechanics of the Novocherkassk Polytechnic Institute from 1962 to the present. The article gives information about the studies of the bearing capacity of the sandy base were carried out on models of band (flat problem), round (axisymmetric problem), columnar under a separate and under the grid columns.

**Keywords:** the model of the foundation, the ultimate load bearing capacity of the ground, sandy ground, the heaving of the soil, strip, round bar, slab.

из лотка после проведения каждого опыта вынимается на необходимую глубину и затем послойно укладывается с трамбованием до заданных параметров и контролем плотности иглой-плотномером. Это также позволяло закладывать в массив основания датчики для измерения параметров НДС с минимальными нарушениями однородности основания [2].

Жесткие и гибкие ленточные фундаменты исследовал в своей работе К.К. Куликов. В работах [4; 5] описана модель фундамента, состоящая из поставленных в ряд трех стальных штампов размерами  $500 \times 500$  мм [4], аналогичных штамповым испытаниям по методике ВНИИГ им. Б.Г. Веденеева, и размерами  $354 \times 354$  мм [5]. Модели ставились без заглабления и имели гибкость от менее 1,0 до 20,0 по М.И. Горбунову-Посадову. До предельной нагрузки с исчерпанием несущей способности основания нагружались только жесткие модели толщиной 200 мм. При этом измерения проводились для среднего штампа, у которого условия работы основания были близки к плоской деформации. Со штампами размером стороны 354 мм проведено 6 опытов, и предельное напряжение составило 7,0; 7,88 и 9,75 кг/см<sup>2</sup> [5]. При разрушении основания автором [4] выделены две стадии. Первые волны выпора грунта были радиусом от 1,5 до 2,0  $b$  (ширины фундамента), а затем появлялись вторые волны радиусом 3,0  $b$ , однако значения предельной нагрузки и давления в статье не приведены. Спустя много лет опыты с этими же жесткими моделями ленточных фундаментов (штампов) проводил Г.М. Скибин [26], еще позже жесткие штампы использовали в своих исследованиях Т.А. Крахмальный (поворот) [31] и В.Н. Пихур [33; 34] (раздвижка).

Модели круглых фундаментов как жесткие и гибкие исследовали в своих работах Г.М. Борликов [6; 7], Э.В. Аринина [8–10], В.В. Ревенко [12–14], Ю.В. Галашев [18; 19], Л.В. Краснояруженский [25], О.Н. Осипова [30]. Для измерения компонент деформированного состояния линейных и сдвиговых деформаций Ю.В. Галашев и Л.В. Краснояруженский использовали специально созданные датчики, размещенные в массиве песчаного основания.

В работе Г.М. Борликова [6] исследовалось влияние горизонтальных напряжений и дефор-

маций на несущую способность основания. Для круглых фундаментов на плотном песчаном основании в условиях ограничения боковых деформаций установкой цилиндрических оболочек высотой  $0,5 d$  получено увеличение несущей способности основания [7]. Моделями фундаментов служили жесткие круглые штампы диаметром 400 и 565 мм, устанавливаемые как на поверхность основания, так и внутри металлической оболочки. Для фундаментов с оболочкой выпор грунта происходил внутри оболочки, при этом предельная нагрузка в два раза превышала нагрузку на штамп без оболочки (на поверхности основания), а при соотношении диаметра оболочки к диаметру штампа 1,2–1,3 несущая способность возрастала в 4 и более раз [6].

Э.В. Аринина в своих исследованиях [8–10] исследовала вопрос подобия несущей способности основания моделей жестких круглых штампов при осесимметричном напряженном состоянии при ступенчатом изменении диаметра модели 565, 400, 280, 200 и 140 мм. Площади моделей с 2500 см<sup>2</sup> уменьшались для каждой последующей модели в два раза [8]. Шаг увеличения нагрузки на модель соответствовал увеличению нормального контактного давления на 1 кг/см<sup>2</sup>. Э.В. Аринина пришла к выводу, что условия линейного моделирования выполняются для моделей с диаметром больше 200 мм. Влияние начальной плотности основания на несущую способность исследовалось при относительном заглаблении 200 мм и диаметре штампа 400 мм ( $h : D = 0,5$ ) [9]. Построен график, показавший увеличение несущей способности основания при увеличении плотности основания 1,65; 1,70; 1,75 и 1,80 т/м<sup>3</sup>. Дополнительно исследовалась плотность песка основания иглой-плотномером.

В.В. Ревенко получил в опытах с круглыми штампами касательные, нормальные и радиальные напряжения [12; 13], что позволило выделить три стадии работы основания вплоть до окончательного развития зон сдвигов, завершающихся выпором грунта и исчерпанием несущей способности основания. В работе [14] обобщены результаты многолетних исследований и сформулированы первоочередные задачи исследований, в том числе по изучению предельного состояния грунта.

Работу фундаментов под отдельную опору исследовал З.Я. Тарикулиев на жестких и гибких стальных моделях [3] при различной величине относительного заглубления. При увеличении заглубления несущая способность основания возрастает с 94,0 кН до 28,7 кН для квадратных штампов со стороной, равной 354 мм, и приведен график изменения НДС основания во всем интервале нагружения вплоть до предельной по прочности основания нагрузки.

Цементно-песчаные модели столбчатых фундаментов использовал в своей работе А.А. Цесарский [11]. Работа упруго-пластических тел требует комплексного изучения параметров системы «фундамент-основание», и для их анализа предложено использовать график состояния системы. Анализ момента появления трещин в растянутой зоне бетона, перераспределения усилий между бетоном и арматурой в сочетании с тремя стадиями работы основания позволил выделить фазы работы системы. Важным явилось выявление концентрации напряжений в средней

зоне фундамента и разработка кинематического метода предельного равновесия для расчета центрально нагруженных квадратных фундаментов. Железобетонные модели отдельных столбчатых фундаментов с внецентренным приложением нагрузки испытывали А.Ю. Мурзенко [23], С.И. Евтушенко [24] и Е.Ю. Анищенко [28]. Все модели доводились до разрушения, но выделить несущую способность песчаного основания в этих опытах достаточно сложно.

Плитные фундаменты на железобетонных моделях исследовал С.И. Политов [17], железобетонные модели структурного сборного плитного и гипсовые модели перекрестно-ленточного фундаментов исследовал С.И. Евтушенко, но, как и с моделями столбчатых фундаментов, разделение фаз работы фундамента и основания — достаточно сложная задача. Модели сплошных плитных фундаментов из ДСП использовал в своих опытах В.В. Шматков, но в его опытах основание до потери устойчивости не доводилось.

## Литература

1. Мурзенко Ю.Н. Расчет оснований зданий и сооружений в упруго-пластической стадии работы с применением ЭВМ [Текст] / Ю.Н. Мурзенко. — Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1989. — 135 с.
2. Мурзенко Ю.Н. Методика экспериментальных исследований совместной работы фундаментов и сжимаемого основания при статической нагрузке [Текст] / Ю.Н. Мурзенко // Экспериментальные исследования инженерных сооружений: матер. ко II симпозиуму (Ленинград, сентябрь, 1969 г.). — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1969. — С. 12–21.
3. Тарикулиев З.Я. Результаты исследования совместной работы жестких штампов и песчаного основания [Текст] / З.Я. Тарикулиев // Исследования напряженно-деформированного состояния оснований и фундаментов (Научные тр. НПИ. Т. 238). — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1971. — С. 20–25.
4. Куликов К.К. Напряженно-деформированное состояние песчаного основания под моделями ленточных фундаментов [Текст] / К.К. Куликов // Исследования напряженно-деформированного состояния оснований и фундаментов (Научные тр. НПИ. Т. 238). — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1971. — С. 25–35.
5. Куликов К.К. Исследование контактных напряжений под жесткими ленточными фундаментами на песчаном основании [Текст] / К.К. Куликов, Ю.Н. Мурзенко // Экспериментальные исследования инженерных сооружений: матер. Ко II симпозиуму (Ленинград, сентябрь, 1969 г.). — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1969. — С. 100–109.
6. Борликов Г.М. Работа песчаного основания при стесненных боковых деформациях [Текст] / Г.М. Борликов // Исследования напряженно-деформированного состояния оснований и фундаментов (Научные тр. НПИ. Т. 238). — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1971. — С. 44–52.
7. Мурзенко Ю.Н. Экспериментальные исследования фундамента с песчаной подушкой в цилиндрической оболочке [Текст] / Ю.Н. Мурзенко, Г.М. Борликов // Экспериментальные исследования инженерных сооружений: матер. ко II симпозиуму (Ленинград, сентябрь, 1969 г.). — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1969. — С. 124–134.
8. Аринина Э.В. Проверка условий моделирования осесимметричного напряженно-деформированного состояния песчаного основания [Текст] / Э.В. Аринина // Исследования напряженно-деформированного состояния оснований и фундаментов (Научные тр. НПИ. Т. 238). — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1971. — С. 52–58.
9. Аринина Э.В. Влияние начальной плотности на напряженно-деформированное состояние песчаного основания [Текст] / Э.В. Аринина, Ю.Н. Мурзенко // Исследования напряженно-деформированного состояния оснований и фундаментов (Научные тр. НПИ. Т. 238). — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1971. — С. 58–67.
10. Мурзенко Ю.Н. Экспериментальные исследования процессов изменения полей плотности песчаного основания при повышении нагрузки [Текст] / Ю.Н. Мурзенко, Э.В. Аринина // Основания и фундаменты. Межвуз. сб. — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1976. — С. 13–22.
11. Мурзенко Ю.Н. Анализ напряженно-деформированного состояния железобетонной фундаментной плиты и ее совместной работы с песчаным основанием [Текст] / Ю.Н. Мурзенко, А.А. Цесарский // Исследования напряженно-деформированного состояния оснований и фундаментов (Научные тр. НПИ. Т. 238). — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1971. — С. 35–41.

12. Ревенко В.В. Развитие пластических деформаций в основании круглого штампа [Текст] / В.В. Ревенко // Исследование напряженно-деформированного состояния оснований и фундаментов. Межвуз. сб. — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1977. — С. 20—23.
13. Мурзенко Ю.Н. Результаты и перспективы развития экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния оснований сооружений [Текст] / Ю.Н. Мурзенко, З.Я. Тарикулиев, Э.В. Аринина, В.В. Ревенко // Экспериментально-теоретические исследования нелинейных задач в области оснований и фундаментов. Межвуз. сб. — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1979. — С. 121—128.
14. Ревенко В.В. Экспериментальные данные о напряженном состоянии песчаного основания в зонах сдвигов [Текст] / В.В. Ревенко // Экспериментально-теоретические исследования нелинейных задач в области оснований и фундаментов. Межвуз. сб. — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1979. — С. 148—152.
15. Галашев Ю.В. Экспериментальные исследования глубины сжимаемой толщи основания, нагруженного круглым штампом [Текст] / Ю.В. Галашев, В.П. Дыба, А.Ю. Мурзенко // Экспериментально-теоретические исследования нелинейных задач в области оснований и фундаментов. Межвуз. сб. — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1979. — С. 128—132.
16. Дыба В.П. Экспериментальное исследование условий моделирования плоской деформации песчаного основания [Текст] / В.П. Дыба, А.Ю. Мурзенко // Экспериментально-теоретические исследования нелинейных задач в области оснований и фундаментов. Межвуз. сб. — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1979. — С. 152—156.
17. Политов С.И. Результаты экспериментальных исследований плитных фундаментов каркасных зданий [Текст] / С.И. Политов // Взаимодействие сплошных фундаментных плит с грунтовым основанием. Межвуз. сб. — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1982. — С. 93—98.
18. Галашев Ю.В. Экспериментальное изучение деформаций песчаного основания под круглым жестким штампом [Текст] / Ю.В. Галашев // Взаимодействие сплошных фундаментных плит с грунтовым основанием. Межвуз. сб. — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1982. — С. 116—120.
19. Галашев Ю.В. Анализ результатов экспериментально-теоретических исследований распределения деформаций в песчаном основании круглого жесткого штампа [Текст] / Ю.В. Галашев, Л.В., Краснояруженский, Т.В. Лазарева, С.Д. Ивашенко // Исследование и разработка методов расчета оснований и прочности фундаментов с применением нелинейных теорий деформирования. Межвуз. сб. — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1984. — С. 37—49.
20. Мурзенко Ю.Н. Экспериментально-теоретические исследования работы оснований моделей фундаментных плит каркасных зданий [Текст] / Ю.Н. Мурзенко, В.В. Шматков, А.Г. Хамаев // Исследование и разработка методов расчета оснований и прочности фундаментов с применением нелинейных теорий деформирования. Межвуз. сб. — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1984. — С. 37—49.
21. Мурзенко Ю.Н. Исследование и расчет деформаций оснований сплошных плитных фундаментов в нелинейной стадии работы [Текст] / Ю.Н. Мурзенко, В.В. Шматков // Исследование и расчет оснований и фундаментов при действии статических и динамических нагрузок. Межвуз. сб. — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1988. — С. 4—13.
22. Мурзенко Ю.Н. Исследование и расчет деформаций оснований сплошных плитных фундаментов в нелинейной стадии работы [Текст] / Ю.Н. Мурзенко, В.В. Шматков // Исследования и разработки по компьютерному проектированию фундаментов и оснований. Межвуз. сб. — Новочеркасск: Изд-во НПИ. — 1990. — С. 4—13.
23. Мурзенко А.Ю. Распределение контактных касательных напряжений по подошве железобетонного внецентренно нагруженного столбчатого фундамента [Текст] / Ю.Н. Мурзенко // Исследование и разработка методов расчета оснований и прочности фундаментов с применением нелинейных теорий деформирования. Межвуз. сб. — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1984. — С. 37—49.
24. Мурзенко Ю.Н. Экспериментальные исследования работы краевой зоны сборных фундаментов под отдельную колонну и сетку колонн на песчаном основании [Текст]: монография / Ю.Н. Мурзенко, С.И. Евтушенко. — Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2008. — 248 с.
25. Краснояруженский Л.В. Исследование деформированного состояния песчаного основания под круглыми штампами [Текст] / Л.В. Краснояруженский, Ю.И. Дейнега // Исследование и расчеты оснований и фундаментов в нелинейной стадии работы. Межвуз. сб. — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1986. — С. 113—120.
26. Мурзенко Ю.Н. Экспериментальное исследование влияния изменения геометрической формы подошвы ленточного фундамента на осадку и предельную несущую способность песчаного основания [Текст] / Ю.Н. Мурзенко, С.И. Евтушенко, Г.М. Скибин, Д.Н. Архипов // В сб.: Актуальные проблемы строительства. Материалы 53-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, аспирантов и студентов ЮРГТУ (НПИ). — Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2004. — С. 54—55.
27. Субботин А.И. Экспериментальное изучение развития сдвиговых деформаций в песчаном основании модели фундаментной плиты [Текст] / А.И. Субботин, В.В. Шматков, А.Ю. Мурзенко // Исследования и разработки по компьютерному проектированию фундаментов и оснований. Межвуз. сб. — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1993. — С. 13—21.
28. Мурзенко Ю.Н. Результаты экспериментальных исследований совместной работы моделей железобетонных фундаментов под колонны зданий на песчаном основании [Текст] / Ю.Н. Мурзенко, С.И. Евтушенко, Е.Ю. Анищенко // Моделирование. Теория, методы и средства: материалы IV Международной научно-практической конференции, г. Новочеркасск, 9 апр. 2004 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). — Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2004. — Ч. 4. — С. 43—49.
29. Архипов Д.Н. Краткий обзор опытных исследований [Текст] / Д.Н. Архипов, С.И. Евтушенко, Т.А. Крахмальский, Ю.Н. Мурзенко // В сб. «Сборник статей и сообщений по материалам 55-й научно-технической конф. профессорско-преподавательского состава, научных работников, аспирантов и студентов университета». — Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2006. — С. 56—60.
30. Галашев Ю.В. Сравнение результатов экспериментальных измерений деформаций и перемещений в песчаном основании под жестким штампом с теоретическим решением и опытами других авторов [Текст] / Ю.В. Галашев, О.Н. Осипова // Строительство и архитектура. — 2015. — Т. 3. — Вып. 1. — С. 7—11. — DOI: 10.12737/10851.
31. Евтушенко С.И. Зависимость несущей способности песчаного основания от формы подошвы фундамента [Текст] / С.И. Евтушенко, А.Н. Богомолов, Т.А. Крахмальский // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура». — 2011. — № 23. — С. 35—42.
32. Чиж И.Н. Экспериментальное моделирование взаимодействия соседних фундаментов, разделенных шпунтовым ограждением [Текст] / И.Н. Чиж, Г.М. Скибин // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия «Технические науки». — 2013. — № 4. — С. 54—58.

33. *Евтушенко С.И.* Экспериментальное моделирование напряженно-деформированного состояния песчаного основания близко расположенных моделей столбчатых фундаментов [Текст] / С.И. Евтушенко, В.Н. Пихур // В сб.: Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении. Материалы Всероссийской научно-технической конф. — Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ (НПИ), 2012. — С. 182—189.
34. *Богомолов А.Н.* Экспериментальные исследования разрушения моделей перекрестно-ленточного фундамента на песчаном основании [Текст] / А.Н. Богомолов, С.И. Евтушенко, В.Н. Пихур, Р.С. Нестеров // В сб.: Актуальные проблемы геотехники. Сборник статей, посвященный 60-летию профессора А.Н. Богомолова. — Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2014. — С. 116—123.

## References

- Murzenko Yu.N. *Raschet osnovaniy zdaniy i sooruzheniy v uprugoplasticheskoy stadii raboty s primeneniem EVM* [Calculation of the bases of buildings and structures in the elastic-plastic stage of work with the use of computers]. Stroyizdat Publ., 1989. 135 p.
- Murzenko Yu.N. *Metodika eksperimental'nykh issledovaniy sovmestnoy raboty fundamentov i szhimaemogo osnovaniya pri staticheskoy nagruzke* [Methods of experimental studies of the joint work of the foundations and compressible base under static load]. *Ekspierimental'nye issledovaniya inzhenernykh sooruzheniy (Leningrad, sentyabr', 1969 g.)* [Experimental studies of engineering structures: mater. To the II Symposium (Leningrad, September, 1969)]. Novochoerkassk: NPI Publ., 1969, pp. 12—21.
- Tarikuliev Z.Ya. *Rezultaty issledovaniya sovmestnoy raboty zhestkikh shtampov i peschanogo osnovaniya* [The results of the study of the joint work of stiff dies and sandy grounds]. *Issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya osnovaniy i fundamentov* [Studies of the stress-strain state of bases and foundations]. Novochoerkassk: NPI Publ., 1971, pp. 20—25.
- Kulikov K.K. *Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie peschanogo osnovaniya pod modelyami lentochnykh fundamentov* [Stress-strain state of the sand base under the strip foundations models]. *Issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya osnovaniy i fundamentov* [Studies of the stress-strain state of bases and foundations]. Novochoerkassk: NPI Publ., 1971, pp. 25—35.
- Kulikov K.K., Murzenko Yu.N. *Issledovanie kontaktnykh napryazheniy pod zhestkimi lentochnymi fundamentami na peschanom osnovanii* [The study of contact stresses under rigid strip foundations on a sandy foundation]. *Ekspierimental'nye issledovaniya inzhenernykh sooruzheniy (Leningrad, sentyabr', 1969 g.)* [Experimental studies of engineering structures: mater. To the II Symposium (Leningrad, September, 1969)]. Novochoerkassk: NPI Publ., 1969, pp. 100—109.
- Borlikov G.M. *Rabota peschanogo osnovaniya pri stesennykh bokovykh deformatsiyakh* [The work of the sandy base with cramped lateral deformations]. *Issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya osnovaniy i fundamentov* [Studies of the stress-strain state of bases and foundations]. Novochoerkassk: NPI Publ., 1971, pp. 44—52.
- Murzenko Yu.N., Borlikov G.M. *Ekspierimental'nye issledovaniya fundamenta s peschanoy podushkoy v tsilindricheskoy obolochke* [Experimental studies of the basement with a sand pillow in a cylindrical shell]. *Ekspierimental'nye issledovaniya inzhenernykh sooruzheniy (Leningrad, sentyabr', 1969 g.)* [Experimental studies of engineering structures: mater. To the II Symposium (Leningrad, September, 1969)]. Novochoerkassk: NPI Publ., 1969, pp. 124—134.
- Arinina E.V. *Proverka usloviy modelirovaniya osesimmetrichnogo napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya peschanogo osnovaniya* [Testing the conditions for modeling the axisymmetric stress-strain state of a sandy base]. *Issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya osnovaniy i fundamentov* [Studies of the stress-strain state of bases and foundations]. Novochoerkassk: NPI Publ., 1971, pp. 52—58.
- Arinina E.V., Murzenko Yu.N. *Vliyanie nachal'noy plotnosti na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie peschanogo osnovaniya* [Influence of the initial density on the stress-strain state of the sandy base]. *Issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya osnovaniy i fundamentov* [Studies of the stress-strain state of bases and foundations]. Novochoerkassk: NPI Publ., 1971, pp. 58—67.
- Murzenko Yu.N., Arinina E.V. *Ekspierimental'nye issledovaniya protsessov izmeneniya polya plotnosti peschanogo osnovaniya pri povyshenii nagruzki* [Experimental studies of changes in the density fields of a sandy base with increasing load]. *Osnovaniya i fundamenty* [Bases and Foundations]. Novochoerkassk: NPI Publ., 1976, pp. 13—22.
- Murzenko Yu.N., Tsesarskiy A.A. *Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnoy fundamentnoy plity i ee sovmestnoy raboty s peschanym osnovaniem* [Analysis of the stress-strain state of a reinforced concrete base plate and its joint work with a sand base]. *Issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya osnovaniy i fundamentov* [Studies of the stress-strain state of bases and foundations]. Novochoerkassk: NPI Publ., 1971, pp. 35—41.
- Revenko V.V. *Razvitie plasticheskikh deformatsiy v osnovanii kruglogo shtampa* [Development of plastic deformations at the base of a round stamp]. *Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya osnovaniy i fundamentov* [Studies of the stress-strain state of bases and foundations]. Novochoerkassk: NPI Publ. 1977, pp. 20—23.
- Murzenko Yu.N., Tarikuliev Z.Ya., Arinina E.V., Revenko V.V. *Rezultaty i perspektivy razvitiya eksperimental'nykh issledovaniy napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya osnovaniy sooruzheniy* [Results and prospects for the development of experimental studies of the stress-strain state of the foundations of structures]. *Ekspierimental'no-teoreticheskie issledovaniya nelineynykh zadach v oblasti osnovaniy i fundamentov* [Experimental and theoretical studies of nonlinear problems in the field of bases and foundations]. Novochoerkassk: NPI Publ. 1979, pp. 121—128.
- Revenko V.V. *Ekspierimental'nye dannye o napryazhenno-sostoyanii peschanogo osnovaniya v zonakh sdvigo* [Experimental data on the stress state of the sandy base in shear zones]. *Ekspierimental'no-teoreticheskie issledovaniya nelineynykh zadach v oblasti osnovaniy i fundamentov* [Experimental and theoretical studies of nonlinear problems in the field of bases and foundations]. Novochoerkassk: NPI Publ., 1979, pp. 148—152.
- Galashev Yu.V., Dyba V.P., Murzenko A.Yu. *Ekspierimental'nye issledovaniya glubiny szhimaemoy tolshchi osnovaniya, nagruzhennogo kruglym shtampom* [Experimental studies of the depth of the compressible stratum of the base, loaded with a round stamp]. *Ekspierimental'no-teoreticheskie issledovaniya nelineynykh zadach v oblasti osnovaniy i fundamentov* [Experimental and theoretical studies of nonlinear problems in the field of bases and foundations]. Novochoerkassk: NPI Publ. 1979, pp. 128—132.

16. Dyba V.P., Murzenko A.Yu. Eksperimental'noe issledovanie usloviy modelirovaniya ploskoy deformatsii peschanogo osnovaniya [Experimental study of conditions for modeling flat deformation of a sand base]. *Eksperimental'no-teoreticheskie issledovaniya nelineynykh zadach v oblasti osnovaniy i fundamentov* [Experimental and theoretical studies of nonlinear problems in the field of bases and foundations]. Novocherkassk: NPI Publ. 1979, pp. 152–156.
17. Politov S.I. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy plitnykh fundamentov karkasnykh zdaniy [Results of experimental studies of slab foundations of frame buildings]. *Vzaimodeystvie sploshnykh fundamentnykh plit s gruntovym osnovaniem* [Interaction of solid base plates with a ground base]. Novocherkassk: NPI Publ. 1982, pp. 93–98.
18. Galashev Yu.V. Eksperimental'noe izuchenie deformatsiy peschanogo osnovaniya pod kruglym zhestkim shtampom [Experimental study of the deformations of the sand base under a round rigid stamp]. *Vzaimodeystvie sploshnykh fundamentnykh plit s gruntovym osnovaniem* [Interaction of solid base plates with a soil base]. Novocherkassk: NPI Publ. 1982, pp. 116–120.
19. Galashev Yu.V., Krasnojarujenskij L.V., Lasareva T.V., Ivashenko S.D. Analiz rezultatov eksperimental'no-teoreticheskikh issledovaniy raspredeleniya deformatsiy v peschanom osnovanii kruglogo zhostkogo shtampa [Analysis of the results of experimental and theoretical studies of the distribution of deformations in the sand base of a round rigid stamp]. *Issledovanie i razrabotka metodov rascheta osnovaniy i prochnosti fundamentov s primeneniem nelineynykh teoriy deformirovaniya* [Research and development of methods for calculating the foundations and strength of foundations using nonlinear theories of deformation]. Novocherkassk: NPI Publ. 1984, pp. 37–49.
20. Murzenko Yu.N., Shmatkov V.V., Khamaev A.G. Eksperimental'no-teoreticheskie issledovaniya raboty osnovaniy modeley fundamentnykh plit karkasnykh zdaniy [Experimental and theoretical studies of the operation of the foundations of the models of base plates of frame buildings]. *Issledovanie i razrabotka metodov rascheta osnovaniy i prochnosti fundamentov s primeneniem nelineynykh teoriy deformirovaniya* [Research and development of methods for calculating the foundations and strength of foundations]. Novocherkassk: NPI Publ. 1984, pp. 37–49.
21. Murzenko Yu.N., Shmatkov V.V. Issledovanie i raschet deformatsiy osnovaniy sploshnykh plitnykh fundamentov v nelineynoy stadii raboty [Research and calculation of base deformations of continuous slab foundations in the nonlinear work stage]. *Issledovanie i raschet osnovaniy i fundamentov pri deystvii staticheskikh i dinamicheskikh nagruzok* [Research and calculation of bases and foundations under the action of static and dynamic loads]. Novocherkassk: NPI Publ. 1988, pp. 4–13.
22. Murzenko Yu.N., Shmatkov V.V. Issledovanie i raschet deformatsiy osnovaniy sploshnykh plitnykh fundamentov v nelineynoy stadii raboty [Research and calculation of base deformations of continuous slab foundations in the non-linear work stage]. *Issledovaniya i razrabotki po komp'yuternomu proektirovaniyu fundamentov i osnovaniy* [Research and development in computer-aided design of foundations and bases]. Novocherkassk: NPI Publ. 1990, pp. 4–13.
23. Murzenko A.Yu. Raspredelenie kontaktnykh kasatel'nykh napryazheniy po podoshve zhelezobetonnoho vnetsentrenno nagruzhennogo stolbchatogo fundamenta [Distribution of contact tangential stresses along the base of reinforced eccentrically loaded columnar foundation]. *Issledovanie i razrabotka metodov rascheta osnovaniy i prochnosti fundamentov s primeneniem nelineynykh teoriy deformirovaniya* [Research and development of methods for calculating the foundations and strength of foundations using nonlinear theories of deformation]. Novocherkassk: NPI Publ. 1984, pp. 37–49.
24. Murzenko Yu.N., Evtushenko S.I. *Eksperimental'nye issledovaniya raboty kraevoy zony sbornykh fundamentov pod otel'nuyu kolonnu i setku kolonn na peschanom osnovanii* [Experimental studies of the work of the marginal zone of prefabricated foundations for a separate column and a grid of columns on a sandy foundation]. Rostov-on-Don: «Izv. Vuzov. Sev.-Kavk. Region» Publ., 2008. 248 p.
25. Krasnoyarskiy L.V., Deynega Yu.I. Issledovanie deformirovannogo sostoyaniya peschanogo osnovaniya pod kruglymi shtampami [Investigation of the deformed state of the sandy base under round stamps]. *Issledovanie i raschety osnovaniy i fundamentov v nelineynoy stadii raboty* [Research and calculations of the bases and foundations in the nonlinear stage of work]. Novocherkassk: NPI Publ., 1986, pp. 113–120.
26. Murzenko Yu.N., Evtushenko S.I., Skibin G.M., Arkhipov D.N. Eksperimental'noe issledovanie vliyaniya izmeneniya geometricheskey formy podoshvy lentochnogo fundamenta na osadku i predel'nyuyu nesushcheyu sposobnost' peschanogo osnovaniya [Experimental study of the effect of changes in the geometric shape of the footing of the strip footing on the draft and the limiting bearing capacity of the sand base]. *Aktual'nye problemy stroitel'stva. Materialy 53-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh rabotnikov, aspirantov i studentov YuRG TU (NPI)* [Actual problems of construction. Materials of the 53rd scientific and technical conference of the faculty, researchers, graduate students and students of SRSTU (NPI)]. Novocherkassk: YuRG TU Publ., 2004, pp. 54–55.
27. Subbotin A.I., Shmatkov V.V., Murzenko A.Yu. Eksperimental'noe izuchenie razvitiya sdvigovalnykh deformatsiy v peschanom osnovanii modeli fundamentnoy plity [Experimental study of the development of shear deformations in the sandy foundation of the model of the base plate]. *Issledovaniya i razrabotki po komp'yuternomu proektirovaniyu fundamentov i osnovaniy* [Research and development in computer-aided design of foundations and bases]. Novocherkassk: NPI Publ., 1993, pp. 13–21.
28. Murzenko Yu.N., Evtushenko S.I., Anishchenko E.Yu. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy sovместnoy raboty modeley zhelezobetonnykh fundamentov pod kolonny zdaniy na peschanom osnovanii [Results of experimental studies of the joint work of models of reinforced concrete foundations for columns of buildings on a sandy foundation]. *Modelirovanie. Teoriya, metody i sredstva: IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, g. Novocherkassk, 9 apr. 2004 g.* [Modeling. Theory, methods and means: materials of the IV International Scientific Practical Conference, Novocherkassk, April 9. 2004]. Novocherkassk: YuRG TU Publ. 2004, pp. 43–49.
29. Arkhipov D.N., Evtushenko S.I., Krakhmal'nyy T.A., Murzenko Yu.N. Kratkiy obzor opytnykh issledovaniy [A brief review of experimental studies.]. *Sbornik statey i soobshcheniy po materialam 55-y nauchno-tekhnicheskoy konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh rabotnikov, aspirantov i studentov universiteta* [Collection of articles and reports on the materials of the 55<sup>th</sup> Scientific and Technical Conf. faculty members, researchers, graduate students and university students]. Novocherkassk: YuRG TU Publ., 2006, pp. 56–60.
30. Galashev Yu.V., Osipova O.N. Sravnenie rezul'tatov eksperimental'nykh izmereniy deformatsiy i peremeshcheniy v peschanom osnovanii pod zhestkim shtampom s teoreticheskimi resheniyami i opytami drugikh avtorov [Comparison of the results of experimental measurements of deformations and displacements in a sandy base under a hard stamp with a theoretical solution and experiments of other authors]. *Stroitel'stvo i arkhitektura* [Construction and Architecture]. 2015, V. 3, I. 1 (6), pp. 7–11.
31. Evtushenko S.I., Bogomolov A.N., Krakhmal'nyy T.A. Zavisimost' nesushchey sposobnosti peschanogo osnovaniya ot formy podoshvy fundamenta [The dependence of the bear-

- ing capacity of the sand base on the shape of the base of the basement]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Building and Architecture]. 2011, I. 23, pp. 35–42.
32. Chizh I.N., Skibin G.M. Eksperimental'noe modelirovanie vzaimodeystviya sosednikh fundamentov, razdelennykh shpuntovym ograzhdeniem [Experimental modeling of the interaction of neighboring foundations, separated by sheet piling]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Tekhnicheskie nauki* [News of higher educational institutions. North Caucasus region. Series: Engineering]. 2013, I. 4 (173), pp. 54–58.
33. Evtushenko S.I., Pikhur V.N. Eksperimental'noe modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya peschanogo osnovaniya blizko raspolozhennykh modeley stolbchatykh fundamentov [Experimental modeling of the stress-strain state of the sandy base of closely spaced models of columnar foundations]. *Mekhanika gruntov v geotekhnike i fundamentostroenii. Materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Soil mechanics in geotechnics and foundation engineering. Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conf.]. Novocherkassk: YuRGU (NPI) Publ. 2012, pp. 182–189.
34. Bogomolov A.N., Evtushenko S.I., Pikhur V.N., Nesterov R.S. Eksperimental'nye issledovaniya razrusheniya modeley perekrestno-lentochnogo fundamenta na peschanom osnovanii [Experimental studies of the destruction of models of cross-strip foundation on a sandy base]. *Aktual'nye problemy geotekhniki. Sbornik statey, posvyashchenny 60-letiyu professora A.N. Bogomolova* [Actual problems of geotechnics. Collection of articles dedicated to the 60<sup>th</sup> anniversary of professor A.N. Bogomolov]. Volgograd: VolgGASU Publ. 2014, pp. 116–123.