

Свойства мелкозернистого бетона с инертной минеральной добавкой и суперпластификатором

М.О. Коровкин, Н.А. Ерошкина, С.М. Саденко, О.В. Пузырёв

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза

Аннотация: Показано значение инертных минеральных добавок для развития технологии современного бетона. Приведены результаты исследования влияния дозировки известнякового порошка на консистенцию и прочность мелкозернистого бетона с различным соотношением его компонентов. Установлено, что в бетонах с высоким содержанием суперпластификатора доля минеральной добавки в смешанном цементе - основной технологический фактор управления прочностными характеристиками бетона.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, минеральный порошок, инертная минеральная добавка, суперпластификатор, консистенция смеси, прочность, управление прочностью.

Применение суперпластификаторов (далее СП) способно кардинально изменить свойства бетона. Введение в бетонную смесь современных СП позволяет одновременно получить значительные пластифицирующий и водоредуцирующий эффекты. Применение этих добавок является основой технологии высокопластичных и самоуплотняющихся бетонов повышенной прочности.

Значительное изменение свойств цементного теста, модифицированного СП, обуславливает необходимость изменения рецептуры бетона. К таким изменениям относится прежде всего введение в состав бетона минеральных добавок. Эти добавки повышают объем цементного теста, что увеличивает раздвижку зерен заполнителя и пластичность бетонной смеси без риска ее расслоения. Рациональность совместного применения СП и активных минеральных добавок предопределила создание и внедрение в практику производства высокофункциональных бетонов органоминеральных добавок серии «МБ» [1].

В бетонах, к технологическим и эксплуатационным характеристикам которых не предъявляются повышенные требования, в качестве минеральных

добавок целесообразно использовать инертные или малоактивные порошковые материалы, такие, как измельченные отсеvy дробления щебня, отходы обогащения руд и другие промышленные отходы, не обладающие пуццолановыми или вяжущими свойствами.

Исследования и применение инертных минеральных добавок в цемент были начаты еще в конце XIX века [2], однако эти модификаторы свойств бетона не получили широкого распространения. На различных этапах развития технологии бетона в качестве таких добавок применяли песок, известняк и другие горные породы, которые измельчались совместно с цементом [2]. Эффективность применения инертных минеральных добавок возрастает при введении в состав бетона высокоэффективных водоредуцирующих добавок – в результате снижения водоцементного отношения негативное влияние инертных добавок на прочность значительно уменьшается [3, 4]. Совместное использование СП с инертными порошковыми материалами является важной составной частью концепции бетонов нового поколения [5, 6].

При выборе вида и назначении дозировки СП и инертной минеральной добавки главными критериями являются водопотребность смеси при заданном уровне ее удобоукладываемости и прочность в различные сроки твердения. Влияние минеральной добавки на консистенцию определяется различными факторами, и прежде всего поверхностными явлениями, обуславливающими образование коагуляционных структур в цементном тесте, изготовленном с применением смешанного цемента [7], а также возможным ускорением процессов гидратации и схватывания [8]. Исследования [9, 10] показали, что большое значение имеет топологический фактор – в зависимости от размера частиц минеральные добавки могут выполнять различные функции: уплотнения, разбавления и наполнения цемента.

Эффективность совместного использования различных видов СП и минеральных добавок в бетонах оценивается эмпирически в связи с тем, что пока не установлены универсальные зависимости свойств бетона от характеристик компонентов комплексных добавок. В связи с этим актуальны исследования совместимости различных видов СП и минеральных добавок в смешанных цементах.

Исследование зависимости консистенции мелкозернистой бетонной смеси и прочности в различные сроки твердения от доли замещения цемента известняковой мукой проводилось на смесях с различными расходом СП и соотношением песка и вяжущего. Консистенция смеси с водоцементным отношением (В/Ц) 0,5 определялась по ее расплыву из формы-конуса под действием собственного веса и после 10 встряхиваний (по ГОСТ 310.4-81). Из мелкозернистой смеси формовались образцы размером 40×40×160 мм, которые твердели в нормальных условиях.

Для приготовления смесей использовались ЦЕМ I 42,5 производства ООО «Азия Цемент», минеральный порошок, полученный измельчением известняка Аккермановского месторождения до удельной поверхности по ПСХ-2, полевошпатный песок с модулем крупности 2,3. Смесей готовились с применением двух СП – Гиппласт Флоу и Гиппласт Винтер.

В эксперименте доля замещения цемента известняковой мукой (И) варьировалась от 16 до 43 %, отношение песка к цементу (П/Ц) – от 2,7 до 3,3, а расход СП изменялся от 0,7 до 1,1 %. Значения перечисленных факторов варьировались в соответствии с центральным композиционным планом.

По результатам эксперимента методом наименьших квадратов рассчитывались коэффициенты эмпирических уравнений вида $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2$, где x_1 , x_2 и x_3 – значения факторов в кодовом выражении (в интервале от 1 до –1). Значения коэффициентов уравнений приведены в таблицах № 1 и № 2, а графические

зависимости исследованных свойств от двух наиболее значимых факторов представлены на рис. 1-3.

Таблица № 1

Значения коэффициентов уравнений, описывающих зависимость свойств бетона от исследованных свойств, для составов с СП Гиппласт Флоу

Условия испытания	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
Расплав конуса через 5 мин после начала приготовления, мм										
без встряхивания	135,5	0	-46,69	10,1	0	-4,94	-11	10,07	21,1	-11,44
после встряхивания	218,4	0	-40,93	11,7	0	-4,66	-8,94	0	0	-13,64
Прочность на сжатие, МПа										
1 сут	5,1	-1,07	0	-0,64	-0,3	0	0	0	0	0
3 сут	22,1	-2,96	-0,40	0	0	0	0	-0,98	-1,02	0
7 сут	31,3	-5,05	-1,02	0	0	0	0	0	0	0
28 сут	44,8	-7,69	-1,70	0	0	0	0	2,57	0	0

Таблица № 2

Значения коэффициентов уравнений, описывающих зависимость свойств бетона от исследованных свойств, для составов с СП Гиппласт Винтер

Условия испытания	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
Расплав конуса через 5 мин после начала приготовления, мм										
без встряхивания	110,0	0	-27,5	4,26	0	-4,53	-5,25	0	24,06	0
после встряхивания	193,2	0	-33,9	6,21	0	-4,05	0	0	7,53	-6,97
Расплав конуса через 45 мин после начала приготовления, мм										
без встряхивания	110,2	0	-24,9	10,68	0	0	-11,4	0	19,19	0
после встряхивания	191,8	0	-35,7	14,75	0	0	-6,07	0	0	0
Прочность на сжатие, МПа										
1 сут	9,4	-2,17	0	-0,85	0	0,67	0	0	-1,09	-1,09
3 сут	27,2	-4,42	-1,44	0	0	0	0,6	1,47	-1,51	-2,91
7 сут	33,5	-5,32	-2,57	0	0	0	0	3,69	-3,75	0
28 сут	48,6	-6,53	-2,24	0	0	0	0	0	-2,51	0

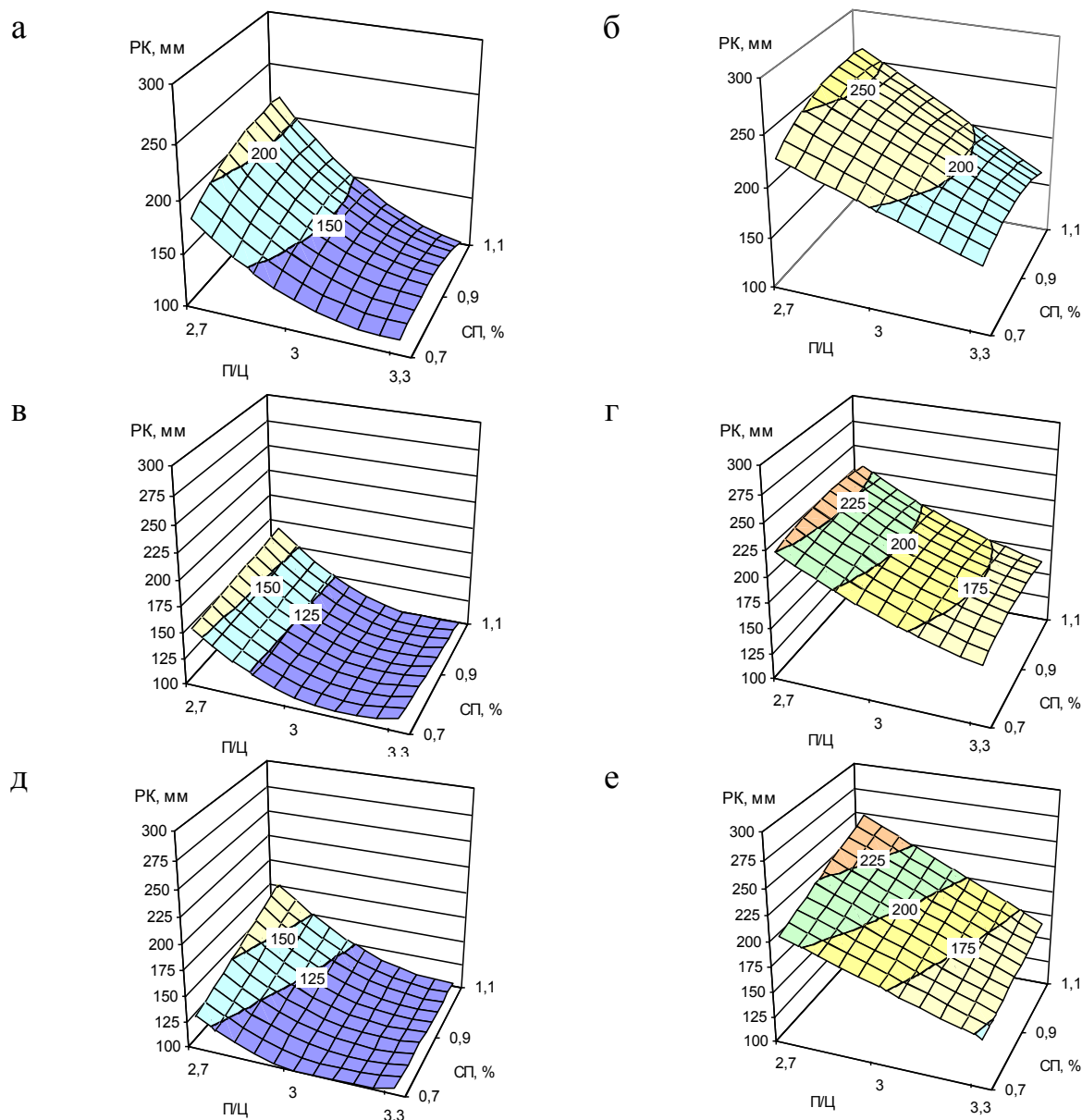


Рис. 1. – Зависимости расплыва смеси без встряхивания (а, в, д) и после встряхивания (б, г, е) через 5 мин (а, б, в, г) и 45 мин (д, е) составов, приготовленных с СП Гиппласт Флоу (а, б), Гиппласт Винтер (в, г, д, е), от исследованных факторов

Анализ коэффициентов уравнений в таблицах № 1 и № 2, а также графиков на рис. 1 показывает, что консистенция смеси зависит в основном от соотношения песка и цемента. Увеличение расхода СП оказывает заметное влияние на консистенцию смеси только при снижении П/Ц.

Увеличение доли минерального порошка в смешанном цементе оказывает незначительное влияние на консистенцию смеси. Однако при увеличении времени определения расплыва смеси влияние дозировки СП на консистенцию значительно возрастает (рис. 1д и 1е), что связано с замедлением процесса схватывания цементного теста при повышенной дозировке СП.

На прочность бетона в различные сроки основное влияние оказывают содержание минерального порошка в смешанном цементе и отношение песка к вяжущему, однако прочность через 1 сутки в значительной степени зависит от дозировки СП, что связано с эффектом замедления гидратации цемента на ранних стадиях твердения.

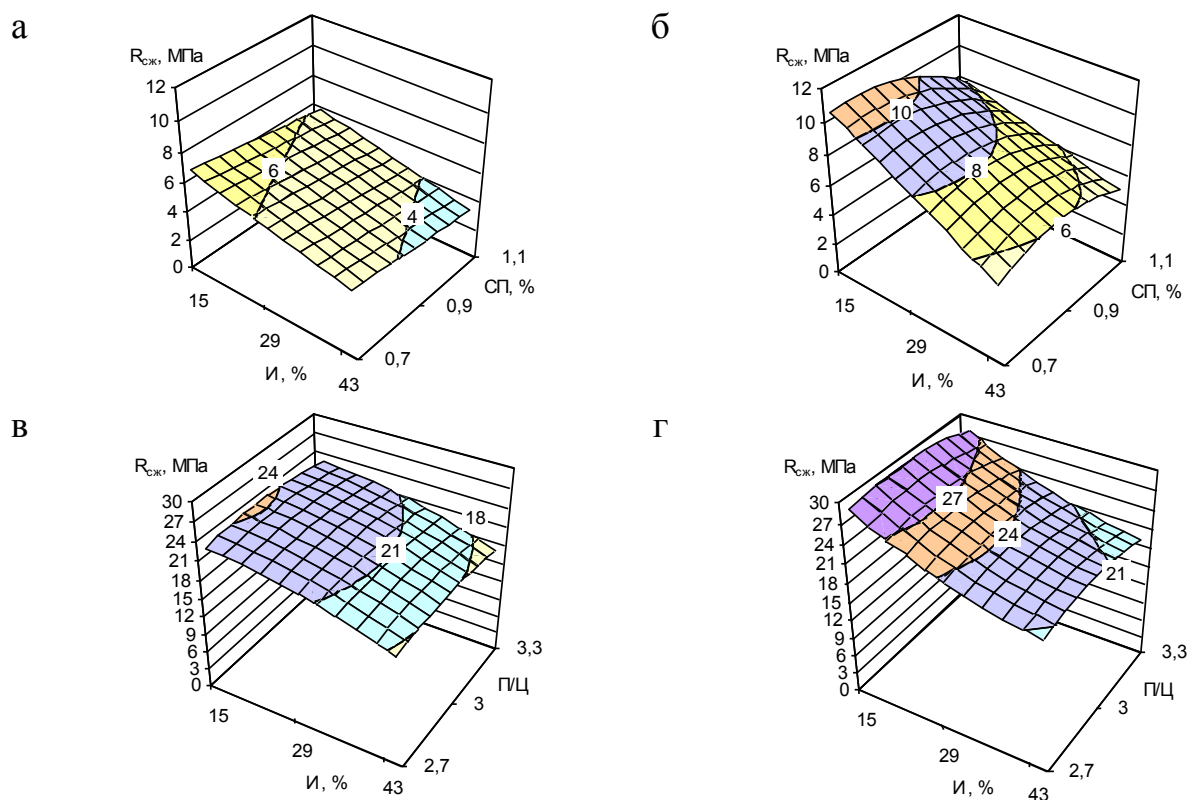


Рис. 2. – Влияние исследованных факторов на прочность бетона после 1 (а, б) и 3 (в, г) суток твердения составов, приготовленных с СП Гиппласт Флоу (а, в), Гиппласт Винтер (б, г)

Эффект замедления структурообразования в ранние сроки проявляется при повышении дозировки СП Гиппласт Винтер (см. рис. 2б). На графиках рис. 1 видно, что на начальном этапе твердения добавка Гиппласт Винтер позволяет получить в среднем более высокие значения прочности, чем при использовании СП Гиппласт Флоу. Это связано с тем, что первая добавка предназначена для использования в зимнее время и содержит компоненты, ускоряющие твердение, в отличие от второй добавки, которая применяется для приготовления бетонной смеси в летнее время и должна не только обеспечивать высокую удобоукладываемость, но и замедлять процесс гидратации в течение нескольких часов, что создает условия для сохранения подвижности бетонной смеси в теплое время года.

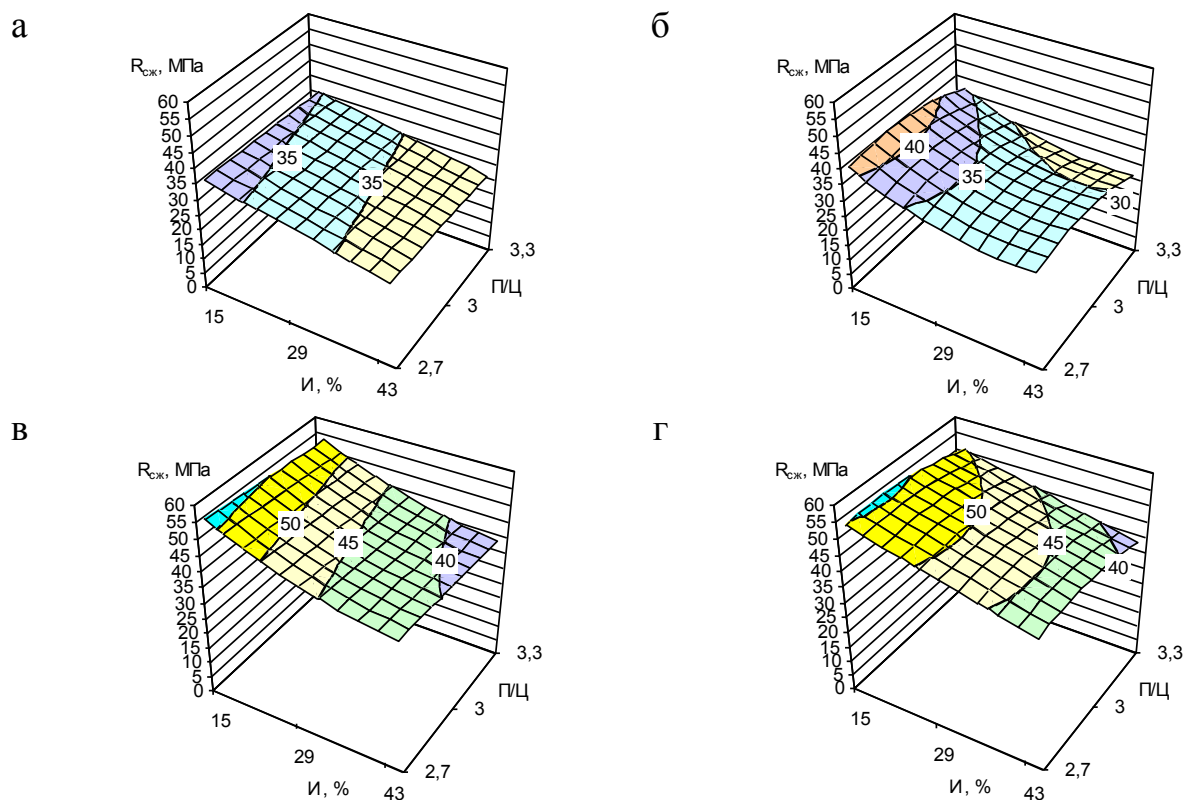


Рис. 3. – Влияние исследованных факторов на прочность бетона после 1 (а, б) и 3 (в, г) суток твердения составов, приготовленных с СП Гиппласт Флоу (а, в), Гиппласт Винтер (б, г)

В более поздние сроки эффект замедления твердения снижается, и через 28 суток прочностные показатели бетонов, приготовленных с двумя исследованными СП, практически не различаются (см. рис. 3).

Увеличение дозировки исследованной инертной минеральной добавки не оказывает значительного влияния на технологические свойства бетонной смеси, в связи с этим данная добавка на стадии приготовления смеси и ее формирования может рассматриваться в качестве полноценной замены цемента. Фактором, ограничивающим долю минеральной добавки в смешанном цементе, являются прочностные характеристики бетона.

Анализ коэффициентов уравнений в таблицах 1 и 2 показывает, что прочность исследованных составов бетона в поздние сроки определяется в основном долей минеральной добавки в смешанном цементе. В связи с тем, что свойства бетонных смесей с повышенным расходом высокоэффективных СП очень чувствительны к расходу воды, расход минеральной добавки может быть использован в качестве параметра состава, позволяющего более эффективно управлять прочностью бетона, чем водоцементное отношение.

Литература

1. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. Влияние состава органоминеральных модификаторов бетона серии «МБ» на их эффективность // Бетон и железобетон. 2001. № 5. С.11-15.
2. Волженский А.В., Попов Л.Н. Смешанные портландцементы повторного помола и бетоны на их основе. М.: Госстройиздат, 1961. 107 с.
3. Коровкин М.О., Гринцов Д.М., Ерошкина Н.А. Рациональное применение инертных минеральных добавок в технологии бетона // Инженерный вестник Дона. 2017, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4361.

4. Zhang Z., Xiao J., Han K., Wang J., Hu X. Study on the structural build-up of cement-ground limestone pastes and its micro-mechanism // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 263. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.120656.

5. Калашников В.И. Что такое порошково-активированный бетон нового поколения // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 70-71.

6. Калашников В.И., Суздальцев О.В., Дрянин Р.А., Сехпосян Г.П. Роль дисперсных и тонкозернистых наполнителей в бетонах нового поколения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2014. № 7. С. 11-21.

7. Knop Y., Peled A., Cohen R. Influences of limestone particle size distributions and contents on blended cement properties // Construction and Building Materials. 2014. Vol. 71. P. 26-34.

8. Briki Y., Zajac M., Naha M. B., Scrivener K. Impact of limestone fineness on cement hydration at early age // Cement and Concrete Research. 2021. Vol. 147. DOI: 10.1016/j.cemconres.2021.106515.

9. Гаврилов А.В., Курочка П.Н. Соотношение размера частиц в полидисперсных структурах как первый шаг к оптимизации составов композиционных вяжущих // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1596/.

10. Курочка П.Н., Гаврилов А.В. Бетоны на комплексном вяжущем и мелком песке // Инженерный вестник Дона, 2013, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1562/.

References

1. Kapriellov S.S., Sheynfel'd A.V. Beton i zhelezobeton. 2001. № 5. pp.11-15.

2. Volzhenskiy A. V., Popov L.N. Smeshannyye portlandtsementy povtornogo pomola i betony na ikh osnove [Mixed re-grinding cement and concretes based on them]. Moskva: Gosstroyizdat, 1961. 107 p.



3. Korovkin M.O., Grintsov D.M., Eroshkina N.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4361.
4. Zhang Z., Xiao J., Han K., Wang J., Hu X. Construction and Building Materials. 2020. Vol. 263. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.120656.
5. Kalashnikov V. I. Stroitel'nye materialy. 2012. № 10. pp. 70-71.
6. Kalashnikov V.I., Suzdal'tsev O.V., Dryanin R.A., Sekhposyan G.P. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo. 2014. № 7. pp. 11-21.
7. Knop Y., Peled A., Cohen R. Construction and Building Materials. 2014. Vol. 71. pp. 26-34.
8. Briki Y., Zajac M., Haha M. B., Scrivener K. Cement and Concrete Research. 2021. Vol. 147. DOI: 10.1016/j.cemconres.2021.106515.
9. Gavrilov A.V., Kurochka P.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1596/.
10. Kurochka P.N., Gavrilov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1562/.