



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 22/06/016-01 от 25 июля 2016 г.

Подбор состава торкретбетона с добавлением полимерной двухкомпонентной
фибры производства фирмы Brugg Contec AG

Заказчик: ТОО «Expert Pro».

Наименование контролируемой продукции: торкретбетон с добавлением двухкомпонентной фибры
производства фирмы Brugg Contec AG.

Исходные материалы: песок, цемент, фибра Concrix 35 HS, ускоритель схватывания Centrament Rapid 652,
Суперпластификатор-М, Пластификатор Glenium 51.

Испытуемые составы образцов:

| Маркировка образца ¹ | Цемент, кг/м ³ | Песок, кг/м ³ | Вода, кг/м ³ | В/Ц | Ускоритель схватывания (Centrament Rapid 652), кг/м ³ (3% от массы цемента) | Супер- пласти- фикатор- М, % от массы Ц | Пласти- фикатор Glenium 51, % от массы Ц | Concrix 35 HS, кг/м ³ |
|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------|--|---|--|-------------------------------------|
| С1.5 | 450 | 1700 | 240 | 0,54 | 13,5 | - | - | 1,5 |
| С3 | 450 | 1700 | 240 | 0,54 | 13,5 | - | - | 3 |
| С4.5 | 450 | 1700 | 240 | 0,54 | 13,5 | - | - | 4,5 |
| С6 | 450 | 1700 | 240 | 0,54 | 13,5 | - | - | 6 |
| СМ1.5 | 450 | 1700 | 210 | 0,47 | 13,5 | 10 | - | 1,5 |
| СМ3 | 450 | 1700 | 210 | 0,47 | 13,5 | 10 | - | 3 |
| СМ4.5 | 450 | 1700 | 210 | 0,47 | 13,5 | 10 | - | 4,5 |
| СМ6 | 450 | 1700 | 210 | 0,47 | 13,5 | 10 | - | 6 |
| СГ1.5 | 450 | 1700 | 210 | 0,47 | 13,5 | - | 1,1 | 1,5 |
| СГ3 | 450 | 1700 | 210 | 0,47 | 13,5 | - | 1,1 | 3 |
| СГ4.5 | 450 | 1700 | 210 | 0,47 | 13,5 | - | 1,1 | 4,5 |
| СГ6 | 450 | 1700 | 210 | 0,47 | 13,5 | - | 1,1 | 6 |
| СМК | 450 | 1700 | 210 | 0,47 | 13,5 | 10 | - | - |
| СГК | 450 | 1700 | 210 | 0,47 | 13,5 | - | 1,1 | - |
| И6 | 450 | 1700 | 240 | 0,54 | 13,5 | - | 1,1 | 6 |
| ИГ6 | 450 | 1700 | 210 | 0,47 | 13,5 | - | 1,1 | 6 |
| ИК | 450 | 1700 | 210 | 0,47 | 13,5 | - | 1,1 | - |

Результаты испытаний отображены в приложениях №№1-6.

Директор ИПКОН РАН

Захаров В.Н.

Ответственный исполнитель работ

Экс В.В.

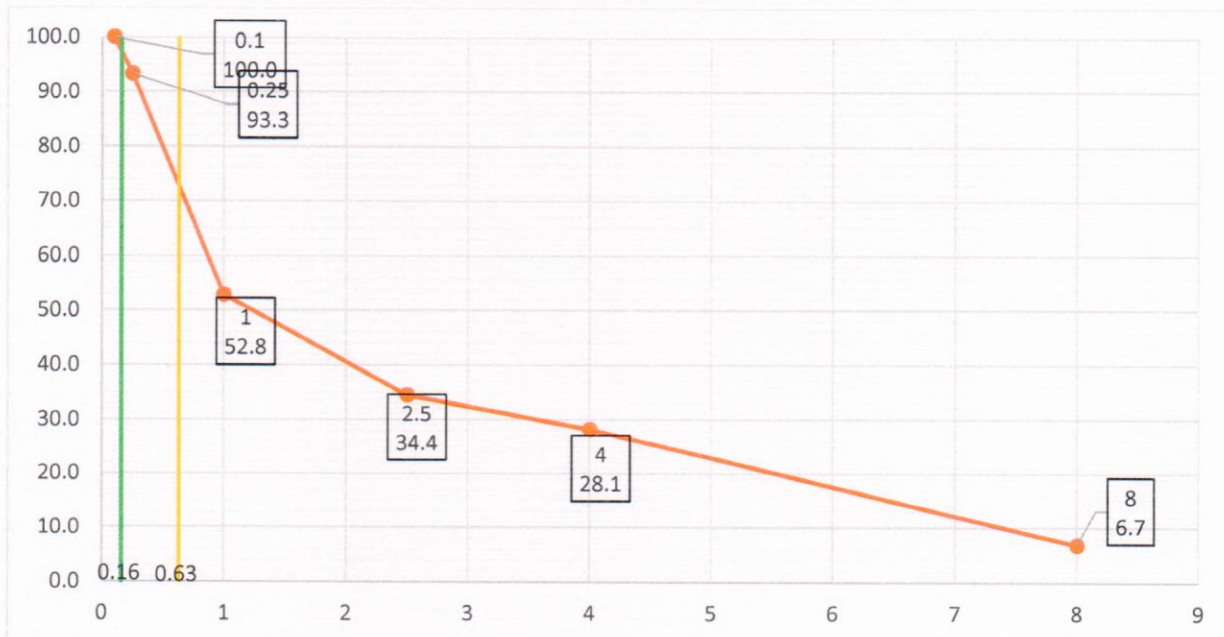
¹ Приняты следующие условные кодировки: С – одноосное сжатие, без добавления пластификатора; СМ – с добавлением Суперпластификатор-М, СГ – с добавлением пластификатора Glenium 51, СМ – контрольный, с добавлением Суперпластификатор-М, но без фибры, СГК – контрольный, с добавлением Glenium 51, но без фибры; 1.5, 3, 4.5, 6 – расход фибры в кг на 1м³ смеси; И – испытание на изгиб; ИГ – с добавлением пластификатора Glenium 51; ИК – контрольный образец, без фибры; 6 – расход фибры в кг на 1м³ смеси

Результаты испытаний

Анализ песка на соответствие требованиям ГОСТ8736- 93

Показатели зернового состава песка:

| | Размер ячеек сита, мм | | | | | | Всего |
|-----------------------|-----------------------|------|------|-----|------|-----|-------|
| | 0.1 | 0.25 | 1 | 2.5 | 4 | 8 | |
| Количество фракций, % | 6.7 | 40.5 | 18.4 | 6.3 | 21.4 | 6.7 | 100 |



Заключение: полный остаток песка на сите N063 составляет 73%. Содержание песка крупностью свыше 5 мм – 20%, а менее 0,16 – 3 %. Таким образом данный песок, по зерновому составу, относится ко второму классу песка повышенной крупности (ГОСТ8736-93).

Ответственный исполнитель:

Экс В.В.

Результаты испытаний
образцов-кубов на сжатие на 3 сутки

| № | Маркировка | Параметры образца-куба | | A | F | R | Примечания | $\overline{R_{tb}}$ | П |
|----|------------|------------------------|------|---------|------|-------------|---|---------------------|----|
| | | a | b | | | | | | |
| 1 | C1.5-3-1 | 72,0 | 72,0 | 5184,00 | 51,2 | 8,40 | - | 8,7 | |
| 2 | C1.5-3-2 | 71,0 | 71,0 | 5041,00 | 38,2 | 6,44 | брак, имеются сколы ребер более 10 мм | | |
| 3 | C1.5-3-3 | 72,0 | 73,0 | 5256,00 | 55,3 | 8,94 | - | | |
| 4 | C3-3-1 | 71,0 | 71,0 | 5041,00 | 44,3 | 7,47 | имеются сколы ребер и каверны до 5 мм | 7,8 | |
| 5 | C3-3-2 | 71,0 | 73,0 | 5183,00 | 48,9 | 8,02 | имеются сколы ребер и каверны до 5 мм | | |
| 6 | C3-3-3 | 74,0 | 70,5 | 5217,00 | 46,5 | 7,57 | имеются сколы ребер и каверны до 5 мм | | |
| 7 | C4.5-3-1 | 71,0 | 73,0 | 5183,00 | 46,3 | 7,58 | - | 8,7 | |
| 8 | C4.5-3-2 | 70,5 | 73,0 | 5146,50 | 54,5 | 9,00 | - | | |
| 9 | C4.5-3-3 | 70,8 | 73,0 | 5168,40 | 51,3 | 8,43 | - | | |
| 10 | C6-3-1 | 70,6 | 71,8 | 5069,08 | 42,3 | 7,10 | - | 7,1 | |
| 11 | C6-3-2 | 71,2 | 70,6 | 5026,72 | 39,6 | 6,70 | - | | |
| 12 | C6-3-3 | 71,6 | 70,8 | 5069,28 | 42,6 | 7,15 | - | | |
| 13 | CM1,5-3-1 | 71,2 | 70,6 | 5026,72 | - | - | В виду высокого расхода пластификатора «Суперпалстификатор-М» образцы не набрали минимальной прочности для проведения испытаний | | П4 |
| 14 | CM1,5-3-2 | 70,7 | 71 | 5019,7 | - | - | | | П4 |
| 15 | CM1,5-3-3 | 70,2 | 70,5 | 4949,1 | - | - | | | П4 |
| 16 | CM3-3-1 | 70,9 | 69,9 | 4955,91 | - | - | | | П4 |
| 17 | CM3-3-2 | 70,6 | 70,1 | 4949,06 | - | - | | | П4 |
| 18 | CM3-3-3 | 71,1 | 70,7 | 5026,77 | - | - | | | П4 |
| 19 | CM4,5-3-1 | 70,3 | 70,2 | 4935,06 | - | - | | | П4 |
| 20 | CM4,5-3-2 | 71,1 | 70,8 | 5033,88 | - | - | | | П4 |
| 21 | CM4,5-3-3 | 70,9 | 70,6 | 5005,54 | - | - | | | П4 |
| 22 | CM6-3-1 | 69,8 | 70,4 | 4913,92 | - | - | | | П4 |
| 23 | CM6-3-2 | 70,8 | 71,2 | 5040,96 | - | - | | | П4 |
| 24 | CM6-3-3 | 70,4 | 70,6 | 4970,24 | - | - | | | П4 |
| 25 | CG1.5-3-1 | 70,9 | 70,6 | 5005,54 | 48,9 | 8,30 | | 8,32 | П4 |
| 26 | CG1.5-3-2 | 70,6 | 71 | 5012,6 | 47 | 7,97 | | | П4 |
| 27 | CG1.5-3-3 | 71,1 | 70,5 | 5012,55 | 51,2 | 8,68 | | | П4 |
| 28 | CG3-3-1 | 69,8 | 70,2 | 4899,96 | 47,3 | 8,21 | | 8,55 | П4 |
| 29 | CG3-3-2 | 70,8 | 70,8 | 5012,64 | 52,8 | 8,95 | | | П4 |
| 30 | CG3-3-3 | 70,4 | 70,6 | 4970,24 | 49,6 | 8,48 | | | П4 |
| 31 | CG4.5-3-1 | 71,2 | 69,9 | 4976,88 | 54,3 | 9,27 | | 8,91 | П4 |
| 32 | CG4.5-3-2 | 70,7 | 70,1 | 4956,07 | 51,2 | 8,78 | | | П4 |
| 33 | CG4.5-3-3 | 70,2 | 70,7 | 4963,14 | 50,7 | 8,68 | | | П4 |
| 34 | CG6-3-1 | 70,3 | 70,4 | 4949,12 | 51,7 | 8,88 | | 8,85 | П4 |
| 35 | CG6-3-2 | 71,1 | 71,2 | 5062,32 | 55,2 | 9,27 | | | П4 |
| 36 | CG6-3-3 | 70,9 | 70,6 | 5005,54 | 49,5 | 8,41 | | | П4 |
| 37 | CGK-3-1 | 70,3 | 70,8 | 4977,24 | 46,9 | 8,01 | | 8,23 | П4 |
| 38 | CGK-3-2 | 69,8 | 70,2 | 4899,96 | 48,6 | 8,43 | | | П4 |

| | | | | | | | | |
|----|---------|------|------|---------|------|------|--|----|
| 39 | СГК-3-3 | 70.6 | 70.6 | 4984.36 | 48.4 | 8.25 | | П4 |
|----|---------|------|------|---------|------|------|--|----|

Условные обозначения: а - ширина, мм; b - длина, мм; А - площадь рабочего сечения образца, мм²; F - разрушающая нагрузка, кН; R - прочность на сжатие, приведенная к базовому размеру, МПа; \overline{R}_{tb} - среднее арифметическое по трем образцам с наибольшей прочностью из серии, МПа. П -показатель удобоукладываемости.

Заключение: увеличение расхода фибры на ранних сроках набора прочности образцов практически не влияет на рост нормативной прочности образцов на сжатие. При этом увеличение расхода фибры оказывает существенное влияние на показатель деформации образцов с сохранением предельной прочности.

Ответственный исполнитель:



Экс В.В.

Результаты испытаний
образцов-кубов на сжатие на 7 сутки

| № | Маркировка | Параметры образца-куба | | A | F | R | Примечания | $\overline{R_{тб}}$ | П |
|----|------------|------------------------|------|---------|-------|-------|---|---------------------|----|
| | | a | b | | | | | | |
| 1 | C1,5-7-1 | 71,1 | 73,8 | 52,47 | 52,14 | 9,9 | - | 11,5 | |
| 2 | C1,5-7-2 | 70,7 | 73,0 | 51,61 | 56,79 | 11,0 | - | | |
| 3 | C1,5-7-3 | 70,7 | 72,1 | 50,97 | 60,99 | 12,0 | - | | |
| 4 | C3-7-1 | 70,6 | 74,2 | 52,39 | 40,90 | 7,8 | брак, имеются сколы ребер более 10 мм | 7,8 | |
| 5 | C3-7-2 | 69,6 | 73,8 | 51,36 | 43,57 | 8,5 | брак, имеются сколы ребер более 10 мм | | |
| 6 | C3-7-3 | 72,6 | 70,6 | 51,26 | 36,83 | 7,2 | брак, имеются сколы ребер более 10 мм | | |
| 7 | C4,5-7-1 | 70,4 | 73,1 | 51,46 | 72,50 | 14,1 | - | 13,5 | |
| 8 | C4,5-7-2 | 70,1 | 72,4 | 50,75 | 52,58 | 10,4 | - | | |
| 9 | C4,5-7-3 | 70,6 | 72,6 | 51,26 | 66,31 | 12,9 | - | | |
| 10 | C6-7-1 | - | - | - | - | - | К моменту проведения испытаний отсутствовало необходимое количество песка | - | |
| 11 | C6-7-2 | - | - | - | - | - | | - | |
| 12 | C6-7-3 | - | - | - | - | - | | - | |
| 25 | СГ1.5-7-1 | 70.9 | 70.6 | 5005.54 | 58.2 | 9.88 | | 10.37 | П4 |
| 26 | СГ1.5-7-2 | 70.6 | 71 | 5012.6 | 62.4 | 10.58 | | | П4 |
| 27 | СГ1.5-7-3 | 71.1 | 70.5 | 5012.55 | 62.8 | 10.65 | | | П4 |
| 28 | СГ3-7-1 | 69.9 | 70.2 | 4899.96 | 61.2 | 10.62 | | 10.97 | П4 |
| 29 | СГ3-7-2 | 71.8 | 70.8 | 5012.64 | 64.7 | 10.97 | | | П4 |
| 30 | СГ3-7-3 | 70.4 | 70.6 | 4970.24 | 66.2 | 11.32 | | | П4 |
| 31 | СГ4.5-7-1 | 71.2 | 69.9 | 4976.88 | 70.4 | 12.02 | | 12.12 | П4 |
| 32 | СГ4.5-7-2 | 70.7 | 70.1 | 4956.07 | 69.1 | 11.85 | | | П4 |
| 33 | СГ4.5-7-3 | 70.2 | 70.7 | 4963.14 | 72.9 | 12.49 | | | П4 |
| 34 | СГ6-7-1 | 70.3 | 70.4 | 4949.12 | 77.3 | 13.28 | | 12.45 | П4 |
| 35 | СГ6-7-2 | 71.1 | 71.2 | 5062.32 | 72.1 | 12.11 | | | П4 |
| 36 | СГ6-7-3 | 70.9 | 70.6 | 5005.54 | 70.5 | 11.97 | | | П4 |
| 37 | СГК-3-1 | 70.3 | 70.8 | 4977.24 | 65.8 | 11.24 | | 10.88 | П4 |
| 38 | СГК-3-2 | 69.8 | 70.2 | 4899.96 | 63.2 | 10.96 | | | П4 |
| 39 | СГК-3-3 | 70.6 | 70.6 | 4984.36 | 61.3 | 10.45 | | | П4 |

Условные обозначения: a - ширина, мм; b - длина, мм; A - площадь рабочего сечения образца, мм²; F - разрушающая нагрузка, кН; R - прочность на сжатие, приведенная к базовому размеру, МПа; $\overline{R_{тб}}$ - среднее арифметическое по трем образцам с наибольшей прочностью из серии, Мпа; П - показатель удобоукладываемости.

Заключение:

испытания образцов на 7 сутки показали, что увеличение расхода фибры способствует приросту нормативной прочности образцов на сжатие. По сравнению с контрольным образцом разница прочностей образцов составила 1,57 МПа. Кроме этого, увеличение расхода фибры оказывает существенное влияние на показатель деформации образцов с сохранением предельной прочности.

Ответственный исполнитель:



Экс В.В.

Результаты испытаний
образцов-кубов на сжатие на 28 сутки

| № | Маркировка | Параметры образца-куба | | A | F | R | Примечания | \bar{R}_{tb} |
|---|------------|------------------------|------|---------|-------|-------|------------|----------------|
| | | a | b | | | | | |
| 1 | C1,5-28-1 | 70,6 | 73 | 5153,8 | 77,7 | 12,82 | | 13,97 |
| 2 | C1,5-28-2 | 71,7 | 74,8 | 5363,16 | 67,4 | 13,23 | | |
| 3 | C1,5-28-3 | 71,3 | 72,5 | 5169,25 | 89,5 | 14,71 | | |
| 4 | C3-28-1 | 71,2 | 71,9 | 5119,28 | 56,9 | 9,45 | | 10,86 |
| 5 | C3-28-2 | 74,1 | 73 | 5409,3 | 48,2 | 7,58 | | |
| 6 | C3-28-3 | 71,4 | 73,7 | 5262,18 | 65,5 | 12,27 | | |
| 7 | C4,5-28-1 | 70,6 | 73,3 | 51,7498 | 94,66 | 15,55 | | 15,07 |
| 8 | C4,5-28-2 | 72,8 | 70,3 | 51,1784 | 78,11 | 12,97 | | |
| 9 | C4,5-28-3 | 71,7 | 70,8 | 50,7636 | 87,19 | 14,60 | | |

Заключение:

Максимальное значение прочности образцов на сжатие достигло 15,07 МПа на 28 сутки, что соответствует марки бетона В10. Значение 16МПа соответствует марки бетона В12,5.

Ответственный исполнитель:



Экс В.В.

Результаты испытаний
образцов-балок на растяжение при изгибе на 3 суток

Особенности испытаний: испытания образцов-балок на изгиб осуществлялись согласно методике, описанной в ГОСТ 10180-2012 (Испытание на растяжение при изгибе) для фиксации предельной нагрузки на растяжение при работе бетона (R_{tb1}). В дальнейшем для определения работы фибры, образец с образовавшейся трещиной далее нагружался с фиксированием, полученного предельного значения (R_{tb2}).

| Маркировка | Параметры образца-балки | | | l | F ₁ | R _{tb1} | F ₂ | R _{tb2} | Примечания | \overline{R}_{tb1} | \overline{R}_{tb2} |
|------------|-------------------------|-------|------|-----|----------------|------------------|----------------|------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|
| | a | b | c | | | | | | | | |
| И6-3-1 | 99,7 | 99,9 | 400 | 300 | 7,6 | 2,1 | 7,1 | 2,0 | - | 2,2 | 1,8 |
| И6-3-2 | 99,7 | 103,3 | 400 | 300 | 8,7 | 2,3 | 6,1 | 1,6 | - | | |
| И6-3-3 | | | Брак | | | | | | Имеются околы ребер более 10 мм | | |
| ИК6-3-1 | 99,9 | 99,6 | 400 | 300 | 5,0 | 1,46 | - | - | | 1,47 | - |
| ИК6-3-2 | 99,9 | 100,2 | 400 | 300 | 5,3 | 1,48 | - | - | | | |
| ИК6-3-3 | 99,7 | 99,8 | 400 | 300 | 5,1 | 1,46 | - | - | | | |
| ИГ6-3-1 | 100,2 | 101,3 | 400 | 300 | 8,9 | 2,39 | 7 | 1,88 | | 2,28 | 1,83 |
| ИГ6-3-2 | 101,1 | 100,7 | 400 | 300 | 8,4 | 2,26 | 6,4 | 1,72 | | | |
| ИГ6-3-3 | 99,8 | 100,1 | 400 | 300 | 7,9 | 2,18 | 6,8 | 1,88 | | | |

Условные обозначения: m - масса, кг; a - ширина, мм; b - высота, мм; c - длина, мм; ρ - плотность, кг/м³; l - расстояние между опорами, мм; F - разрушающая нагрузка, кН: F₁ до образования трещины в балке, F₂ – после образования трещины в балке; R_{tb1} и R_{tb2} - прочность на растяжение при изгибе, приведенная к базовому размеру при образовании трещины (работа бетона) и после образования (работа фибры), МПа; \overline{R}_{tb1} и \overline{R}_{tb2} - среднее арифметическое по двум образцам с наибольшей прочностью из серии при образовании трещины (работа бетона) и после образования (работа фибры), МПа.

Заключение: образцы, не имеющие в своем составе фибро-фолокна, не обладают остаточной прочностью при изгибе. Образцы, имеющие в своем составе фибро-волокно, после разрушения сохраняют способность выдерживать нагрузки до 80% от той, которая привела к первичному разрушению образца (до образования трещин).

Ответственный исполнитель:



Экс В.В.

Результаты испытаний
образцов-балок на растяжение при изгибе на 28 суток

| | | | | | | | | | | | |
|---------|------|-------|-----|-----|------|------|-----|-------|---|------|------|
| И6-28-1 | 99,8 | 99,6 | 400 | 300 | 10,2 | 2,94 | 9,9 | 2,85 | - | 2,96 | 2,30 |
| И6-28-2 | 99,9 | 101,1 | 400 | 300 | 9,8 | 2,79 | 7,1 | 2,025 | - | | |
| И6-28-3 | 99,7 | 100,1 | 400 | 300 | 10,6 | 3,15 | 7,2 | 2,03 | - | | |

Заключение: основной набор прочности (77%) приходится на первые 3 суток, что имеет большое значение для крепления выработок торкрет-бетоном. Максимальный показатель прочности на растяжение при изгибе на 28 суток составил 2,96 МПа, что соответствует марке бетону В_{тб} 2,4.

Рекомендуемый состав для опытно-промышленных испытаний торкрет-смеси с использованием полимерного фибро-волокна.

| Маркировка образца | Цемент, кг/м ³ | Песок, кг/м ³ | Вода, кг/м ³ | В/Ц | Ускоритель схватывания (Centrament Rapid 652), кг/м ³ (3% от массы цемента) | Пластификатор Glenium 51, % от массы Ц | Concrix 35 HS, кг/м ³ |
|--------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|------|--|--|----------------------------------|
| СГ4.5 | 450 | 1700 | 210 | 0,47 | 13,5 | 1,1 | 4,5 |

Кроме этого рекомендуется:

- обратить внимание на качество инертного заполнителя - наличие глинистых фракций. Количество глины в песке оценивается более, чем 2%, что не соответствует требованиям к песку в соответствии ГОСТ 8736-2014. Повышенное содержание глинистых фракций влияет на показатели прочности образцов, растекаемости, удобоукладываемости смеси.
- рассмотреть возможность использования цемента более высокой марки - не ниже М400, для получения бетона класса В25 (ВСН126-90);
- рассмотреть возможность применения готовых решений в части сухой смеси для торкретирования, которая включает в себя: песок, вяжущее, зольные частицы, пластификатор, фибро-волокно Concrix 35 HS, ускоритель твердения, - от фирмы MC-Bauchemie (Бельгия) для исключения нарушения рецептуры во время производства работ.

Ответственный исполнитель:



Экс В.В.