

## Способы повышения надежности центрифугированных опор контактной сети.

*Е.Ю. Романенко<sup>1</sup>, М.А. Трубицин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Донской государственный технический университет,*

<sup>2</sup> *Ростовский государственный университет путей сообщения*

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены проблемы безопасности и надежности эксплуатируемых сооружений контактной сети. Рассмотрены массовые виды опор контактной сети, используемых при устройстве данных сооружений. Проанализированы особенности формирования структуры центрифугированного бетона, причины неоднородности структуры по толщине кольцевого сечения и появления трещин. Представлена физическая модель, использование которой при изготовлении конструкций позволит модифицировать структуру по толщине кольцевого сечения за счет направленного структурообразования в процессе центробежного уплотнения бетона с комбинированным заполнителем и волокнистыми компонентами.

**Ключевые слова.** Безопасность сооружений, опоры контактной сети, центрифугированные конструкции, кольцевое сечение, физическая модель процесса уплотнения бетонной смеси при центрифугировании, бетон с комбинированным заполнителем и волокнистым компонентом.

Опоры контактной сети являются основными несущими конструкциями контактных подвесок и должны обеспечивать не только надежную работу электрифицированных участков железных дорог, но и безопасность движения поездов на них. Для устройства контактной сети могут использоваться как металлические опоры, так и железобетонные опоры (с ненапряженной и напрягаемой арматурой). Использование в массовом масштабе металлических опор требует большое количество металла, что экономически нецелесообразно. С целью снижения металлоемкости и снижения стоимости опорных конструкций в настоящее время широко используются конические опоры изготавливаемые методом центрифугирования.

Отличительной особенностью формирования структуры центрифугированных конструкций заключается в том, что формирующим усилием является центробежная сила, которая способствует перераспределению компонентов бетонной смеси и формированию

конструкции кольцевого сечения с плотной и однородной внешней поверхностью (в основном) (рис.1) /1-3/.

При этом внешняя часть кольца формируется из тяжелого заполнителя максимальной крупности. В дальнейшем по толщине кольцевого сечения происходит переход к слоям, сформированным из мелкозернистого бетона, затем растворная составляющая и внутренний слой образованный шламовой составляющей, то есть отжатой в процессе центробежного уплотнения избытка воды с мелкими фракциями (рис.1а). Особенность формирования структуры обосновывает определенные требования к материалу и способу формирования структуры.

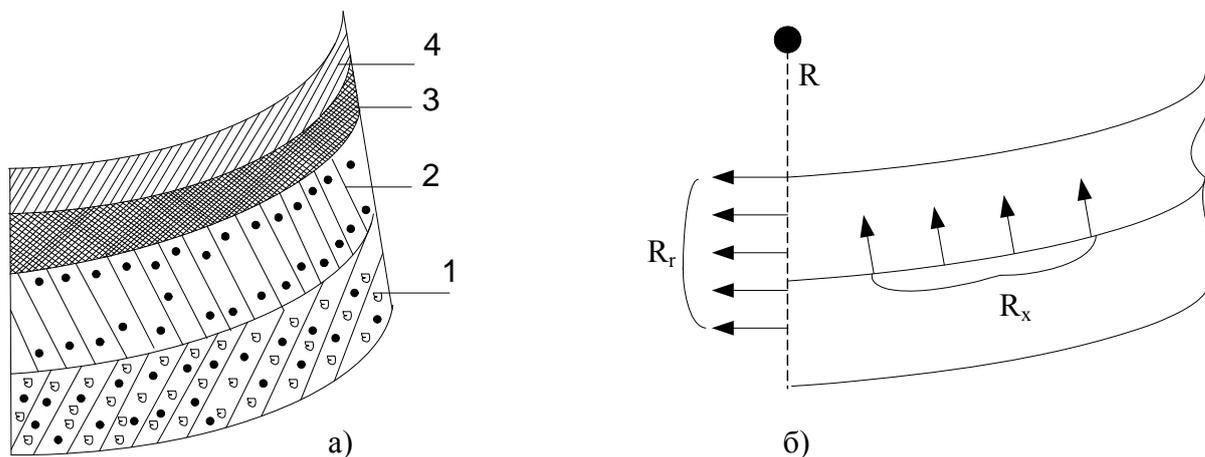


Рис.1 Фрагмент центрифугированного бетона опоры контактной сети

а - строение бетона по толщине стенки опоры;

б - схема ориентации площадок с различной прочностью;

1 – бетон обычной структуры; 2 – мелкозернистый бетон;

3- слой цементного камня; 4 – шламовый слой;

$R_x$ -площадки, параллельные наружной поверхности опоры;

$R_r$ -площадки, параллельные образующей опоры.

От степени центробежного уплотнения зависит прочность бетона на растяжение. При таком способе уплотнения бетонной смеси прочность бетона на растяжение по сечениям, расположенным в радиальном направлении, значительно отличается от прочности по сечениям, ориентированным вдоль средней окружности кольцевого образца (рис.1б).

Прочность по сечениям, расположенным вдоль окружности, оказывается меньше прочности бетона по сечениям в радиальном направлении.

Такое распределение прочности центрифугированного бетона на растяжение по разным направлениям играет определяющую роль в ориентации трещин, возникающих в бетоне при появлении механического давления от продуктов коррозии арматуры. Образующиеся трещины первоначально развиваются в направлениях, где прочность бетона на растяжение наименьшая, а затем появляются и трещины, ориентированные в перпендикулярном направлении. По сути дела, различие в прочностных характеристиках бетона на растяжение в разных направлениях является основной причиной разделения подземной части опор на два соосных цилиндра при наличии опасности возникновения в этой части электрокоррозионных повреждений арматуры/4-8/.

Существуют технологические способы, позволяющие снизить влияние центробежного уплотнения на неравномерность формируемого кольцевого сечения центрифугированной конструкции. Так, при применении в процессе изготовления центрифугированных конструкций рядовых сырьевых материалов с добавлением пористых и волокнистых компонентов, позволило получать бетон с более однородными свойствами по сечению кольца/1,2,8-10/. При этом, используя физическую модель процесса перераспределения компонентов бетонной смеси при центрифугировании /3/, можно подбирать вид и количество пористых и волокнистых добавок.

Целесообразность учета физической модели вызвана тем, что изучаемая система является многокомпонентной и отличается наличием частиц различной плотности, размера и характера поверхности, а это накладывает дополнительные условия на процесс центрифугирования.

Если допустить, что цементное тесто – вязкая изотропная среда, ламинарно обтекающая дрейфующие в ней частицы, а они при взаимном

---

перемещении не контактируют друг с другом, то основной движущей силой процесса распределения компонентов бетонной смеси при центрифугировании будет оставаться центробежная сила [2]. Для оценки характера зависимости этой силы от параметров системы, рассматривалось вращение бетонного кольца вокруг горизонтальной оси с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . На твердую частицу действуют центробежная сила, сообщающая ей поступательное движение вдоль радиуса, сила тяжести и выталкивающая Архимедова сила, сообщающие колебательное движение частице в направлении, перпендикулярном радиусу. При этом, давление, создаваемое результирующей силой, сообщает частице поступательное движение, выражаемое дифференциальным уравнением второго порядка:

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} + \eta \frac{dr}{dt} \pi R^2 = \omega^2 r V_3 (\rho_3 - \rho_{ц.м}), \quad (1)$$

где  $\rho_3$  – средняя плотность заполнителя частицы в цементном тесте, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{ц.м}$  – плотность цементного теста, кг/м<sup>3</sup>;

$R$  – радиус частицы заполнителя, м;

$m$  – масса частицы заполнителя, кг;

$\omega$  – угловая скорость вращения, с<sup>-1</sup>;

$\eta$  – вязкость бетонной смеси до уплотнения, Па·с;

$r$  – путь, пройденный частицей (приращение координаты), м;

$t$  – время вращения центрифуги, с.

Уравнение позволяет представить картину качественного распределения компонентов бетонной смеси при центрифугировании и определить направление и скорость движения разноплотных и разновеликих частиц по радиусу изделия. Координату частицы, обладающую заданными физическими свойствами, в определенный момент времени распределения можно получить проинтегрировав уравнение (1) по  $r$  :

$$0 \leq t \leq t_0$$

$$r_1 = B \exp \left\{ \frac{V_3^{\frac{1}{3}} \rho_3}{\eta} \left( 1 - \frac{\rho_{ym}}{\rho_3} \right) \left( \frac{\omega_{\max}}{t_0} \right)^2 \frac{1}{3} t^3 \right\} \dots, \quad (2)$$

$$t \geq t_0$$

$$r_2 = C \exp \left\{ \frac{V_3^{\frac{1}{3}} \rho_3}{\eta'} \left( 1 - \frac{\rho_{ym}}{\rho_3} \right) \omega_{\max}^2 t \right\} \dots, \quad (3)$$

где  $B, C$  – константы интегрирования;

$\eta'$  – параметр, зависящий от вязкости среды.

Константы интегрирования определяются опытным путем.

Качественный анализ полученного решения показывает, что положение любой частицы заполнителя в кольцевом сечении будет зависеть от ее размера, плотности, вязкости цементного теста, скорости и времени вращения формы. Следовательно, желаемого положения плотных, пористых и волокнистых частиц в бетонном кольце при заданных параметрах уплотнения можно добиться, варьируя их плотностью и размерами/2-6/.

Одновременно можно повысить однородность свойств бетона по толщине стенки кольцевого сечения за счет модификации структуры его внутреннего слоя. Имеющиеся в системе пористые заполнители и волокнистые компоненты, увлекаемые цементным тестом к внутренней поверхности, будут способствовать формированию слоя облегченного мелкозернистого бетона, армированного пространственным каркасом из волокон. Таким образом, внутренний слой кольцевой конструкции будет представлен не рыхлым шламовым слоем, а дисперсноармированным легким бетоном, обладающим прочностными характеристиками и повышающим среднюю прочность центрифугированного бетона с 32,0 МПа (для контрольного состава) до 54,0 МПа (модифицированного бетона). Что в



свою очередь способствует повышению трещиностойкости и долговечности конструкции в целом /2-6/.

Существуют различные способы, повышения трещиностойкости и долговечности центрифугированных бетонов:

- применение расширяющих цементов,
- разнообразные добавки, компенсирующие усадку,
- использование бетонов с комбинированным заполнителем и дисперсноармированных как минеральными, так и полимерными волокнами.

Образование трещин происходит в процессе испарения влаги. Потеря влаги приводит к усадке и трещинам. Примерная усадка цементного камня, который твердел в течение пяти лет, составляет три миллиметра на один метр. Усадка бетона зависит от свойств и вида заполнителя и составляет 0,5мм.

При компенсации усадки и предотвращении трещин необходимо руководствоваться основными требованиями. Применять смеси с низким содержанием цемента, использовать расширяющие добавки, а также применять кюринг/6-10/.

Использование при изготовлении центрифугированных опор контактной сети, предлагаемых вариантов модификации структуры кольцевого сечения конструкций, позволит существенно повысить долговечность сооружений контактной сети в целом и эксплуатационную надежность и безопасность электрифицированных участков Российских железных дорог.

### Литература

1.Ахвердов И.Н. Узловые вопросы теории центробежного формования и уплотнения бетонной смеси. //Тезисы докладов Республиканского научно-технического совещания «Технология безвибрационного формования железобетонных изделий». – Минск, 1979, - с. 3-12.



2. Романенко Е.Ю. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Высокопрочные бетоны с минеральными пористыми и волокнистыми добавками для изготовления длинномерных центрифугированных конструкций, 1990, РГСУ, Ростов-на-Дону.28с

3. Холмянский М.М. Бетон и железобетон: Деформативность и прочность. -М.: Стройиздат, 1997. - 576 с.

4. Маилян Д.Р., Мурадян В.А. К методике расчета железобетонных внецентренно сжатых колонн // Инженерный вестник Дона, 2012, №4. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2012/.

5. Nauss D.J. and Lott J.L. Fracture Toughness of Portland Cement Concretes/ -Journal of the American Concrete Institute. Vol. 66, No. 6, June, 1969, pp. 481-489.

6. Mayer, Klaus. Characterization of Reflector Types by Phase-Sensitive Ultrasonic Data Processing and Imaging / Klaus Mayer et al // Journal of Nondestructive Evaluation (2008). Springer Science. pp. 35–45.

7. М.И. Кадомцев, Ю.Ю. Шатилов, Ю.И. Жигульская. Локализация повреждений железобетонных элементов конструкций с предварительно напряженной арматурой// Инженерный вестник Дона, 2012, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2124.

8.Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. М.: Госстройиздат, 1961. - 97 с.

9.Подольский В.И. Железобетонные опоры контактной сети конструкция, эксплуатация, диагностика. М.: Интекст, 2007. - 152 с.

10. Пособие по тепловой обработке сборных железобетонных конструкций и изделий (к СНиП 3.09.01-85) /ВНИИ железобетон, – М.: Стройиздат, 1989. – 50 с.

## References

1. Ahverdov I.N. Tezisy докладov Respublikanskogo nauchno-tehnicheskogo soveshhanija «Tehnologija bezvibracionnogo formovanija zhelezobetonnyh izdelij».
2. Romanenko E.Ju. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskix nauk. Vysokoprochnye betony s mineral'nymi poristymi i voloknistymi dobavkami dlja izgotovlenija dlennomernyx centrifugirovannyx konstrukcij [ High-strength concretes with mineral porous and stringy addition agents for long-measuring centrifuged constructions making] 1990, RGSU, Rostov-na-Donu. 28p.
3. Kholmyanskiy M.M. Beton i zhelezobeton: Deformativnost' i prochnost'[Concrete and Reinforced Concrete: Deformability and strength]. Moscow: Stroyizdat, 1997. 576 p.
4. Mailjan D.R., Muradjan V.A., Inženernyj vestnik Dona, (Rus), 2012, №4. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2012/.
5. Nauss D.J. and Lott J.L. Fracture Toughness of Portland Cement Concretes. Journal of the American Concrete Institute. Vol. 66, No. 6, June, 1969, pp. 481-489.
6. Mayer, Klaus. Journal of Nondestructive Evaluation (2008). Springer Science. pp. 35–45.
7. M.I. Kadomtsev, Yu.Yu. Shatilov, Yu.I. Zhigul'skaya. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №3. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2124.
8. Berg O.Ja. Fizicheskie osnovy teorii prochnosti betona i zhelezobetona. [Physical basis of concrete and ferroconcrete strength theory].M. Gosstrojizdat, 1961.97 p.
9. Podol'skij V.I. Zhelezobetonnye opory kontaktnoj seti konstrukcija, jekspluatacija, diagnostika [Concrete constructions of overhead contact



system pylons: construction, exploitation, diagnostics]. М.: Intekst, 2007. 152 p.

10. Posobie po teplovoj obrabotke sbornyh zhelezobetonnyh konstrukcij i izdelij [Manual for heat treatment of prefabricated reinforced concrete structures and products (for SNiP 3.09.01-85)]. VNII zhelezobeton. Moscow: Stroyizdat, 1989. 50 p.