

Анализ теоретического и фактического армирования плиты перекрытия при различных вариантах учёта сейсмического воздействия

*А.В. Пономаренко, К.В. Шенцова, В.Н. Аксенов
Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону.*

Аннотация: В статье произведен сравнительный анализ армирования монолитной железобетонной плиты при различных условиях расчёта: без учёта сейсмики, с учётом проектного землетрясения (ПЗ) и с учётом максимального расчётного землетрясения (МРЗ). Получено, что учёт сейсмичности 9 баллов без применения методов активной сейсмозащиты приводит к увеличению армирования плиты на 28 % при учёте ПЗ и на 81 % при расчёте на МРЗ. Кроме того, выполнен анализ работы инструмента «Расход бетона и арматуры» в ПК Лира-САПР. Получен поправочный коэффициент для перехода от теоретического расчётного армирования к фактическому: он составил от 2,4 до 3,0.

Ключевые слова: сейсмическое воздействие, Лира-САПР, расчёт на МРЗ, расчёт каркаса, плита перекрытия, железобетон, удельный расход арматуры.

При проектировании зданий и сооружений необходимо учитывать все воздействия, которым подвергается или может быть подвержен объект. Землетрясение является довольно редким явлением, но оно оказывает одно из самых разрушительных воздействий на здания и сооружения, поэтому при проектировании ему уделяется особое внимание. Анализ статистических данных последствий различных природных катастроф: землетрясений, извержения вулканов, наводнений, тайфунов, торнадо, ураганов показывает, что более 60% от общего числа жертв стихийных бедствий приходится на землетрясения. На сейсмическую активность также приходится более половины экономических потерь от всех природных катастроф вместе взятых [1-5].

В настоящее время существуют два пути защиты зданий и сооружений от сейсмических воздействий:

1. Обеспечение повышенной несущей способности железобетонных элементов.
2. Системы активной сейсмозащиты (АСЗ).

Различают 4 способа АСЗ:

- сейсмоизоляция;
- адаптивные системы;
- системы с повышенным демпфированием;
- системы с гасителями колебаний.

В отличие от подхода простого повышения несущей способности конструкций (а иными словами, жёсткости здания и содержания армирования в конструкциях), АСЗ снижает инерционные сейсмические нагрузки. Активная сейсмоизоляция делится на общую и местную. Общая АСЗ подразумевает под собой полную сейсмоизоляцию здания – здание изолируется от основания полностью. Под местной АСЗ понимается защита отдельных конструкций или оборудования внутри здания или сооружения, без полной сейсмоизоляции здания в целом [6-9].

Обеспечение необходимой прочности при проектировании зданий и сооружений в сейсмических районах в подавляющем большинстве случаев достигается с помощью обеспечения повышенной несущей способности железобетонных элементов (повышенного армирования). Увеличение расхода арматуры в конструкциях возникает как вследствие расчета сооружения на динамическую нагрузку, так и вследствие учета конструктивных требований к армированию, указанных в СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*» [10-12].

С целью определения оценки влияния учёта сейсмичности на расход арматуры в плите монолитного железобетонного здания нами была рассчитана и запроектирована монолитная железобетонная плита согласно результатам расчёта и конструктивным требованиям СП 63.13330.2018 и СП 14.13330.2018.

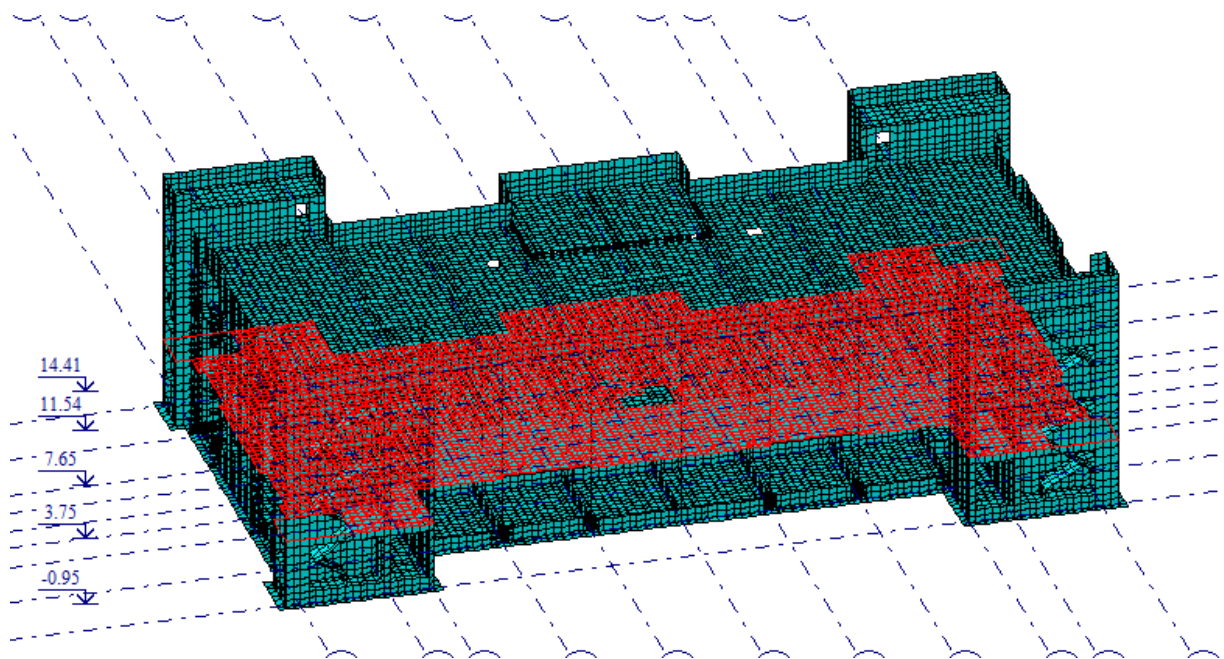


Рис. 1. Аксонометрическая схема здания

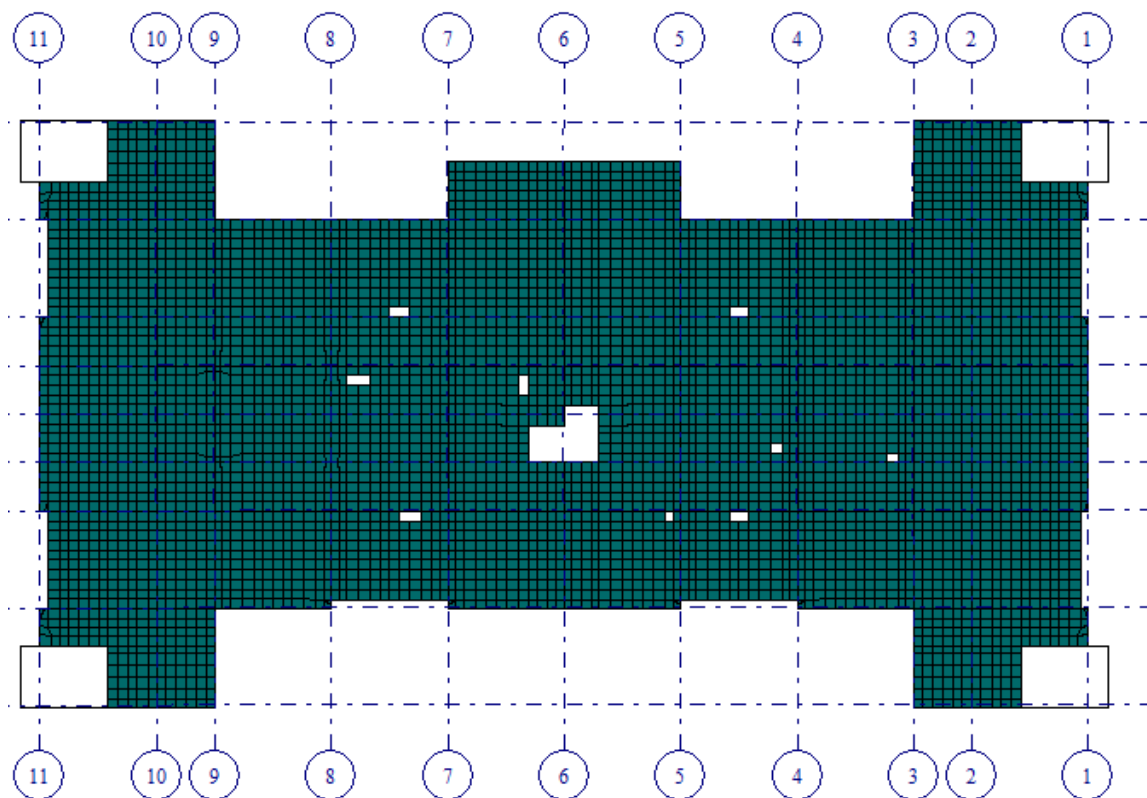


Рис. 2. Плита железобетонная на отм. +3,750 м.

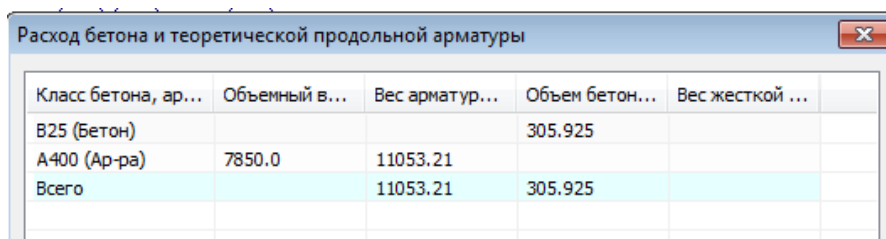
Расчет плиты производился три раза:

1. При расположении здания в несейсмическом районе.

2. При расположении здания в сейсмическом районе (9 баллов) на действие проектного землетрясения (ПЗ).

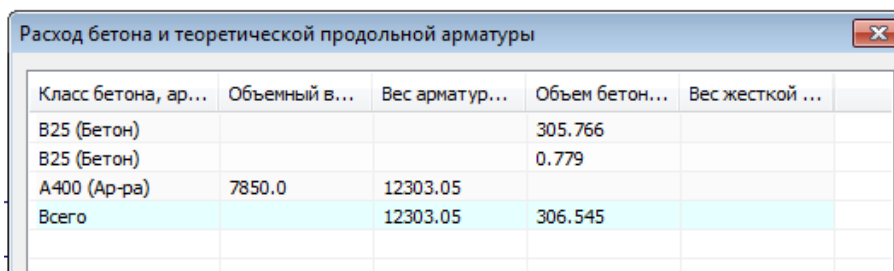
3. При расположении здания в сейсмическом районе на действие максимального расчетного землетрясения (МРЗ).

Далее приведены результаты расчета расхода бетона и арматуры на одну плиту на отм. +3,750, полученные в программном комплексе ЛИРА САПР 2017 (Рисунок 3, 4, 5).



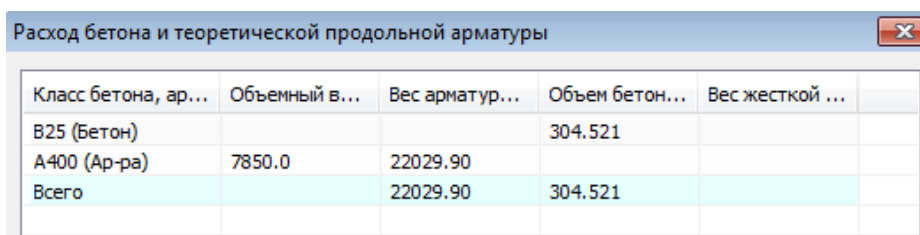
Класс бетона, ар...	Объемный в...	Вес арматур...	Объем бетон...	Вес жесткой ...
B25 (Бетон)			305.925	
A400 (Ар-ра)	7850.0	11053.21		
Всего		11053.21	305.925	

Рис. 3. Расход арматуры на монолитную железобетонную плиту при проектировании в несейсмическом районе.



Класс бетона, ар...	Объемный в...	Вес арматур...	Объем бетон...	Вес жесткой ...
B25 (Бетон)			305.766	
B25 (Бетон)			0.779	
A400 (Ар-ра)	7850.0	12303.05		
Всего		12303.05	306.545	

Рис. 4. Расход арматуры на монолитную железобетонную плиту при проектировании в сейсмическом районе (9 баллов) на действие проектного землетрясения (ПЗ).



Класс бетона, ар...	Объемный в...	Вес арматур...	Объем бетон...	Вес жесткой ...
B25 (Бетон)			304.521	
A400 (Ар-ра)	7850.0	22029.90		
Всего		22029.90	304.521	

Рис. 5. Расход арматуры на монолитную железобетонную плиту при проектировании в сейсмическом районе на действие максимального расчетного землетрясения (МРЗ).

Согласно данным расчета расход продольной арматуры при расчете железобетонной плиты на максимальное расчетное землетрясение (9 баллов) составил 22029 кг; при расчёте на проектное землетрясение – 12303 кг, что на

44% меньше; а при расчете этой же плиты в несейсмическом районе – 11053 кг, что на 50% меньше в сравнении с расчётом на МРЗ (Диаграмма 1).

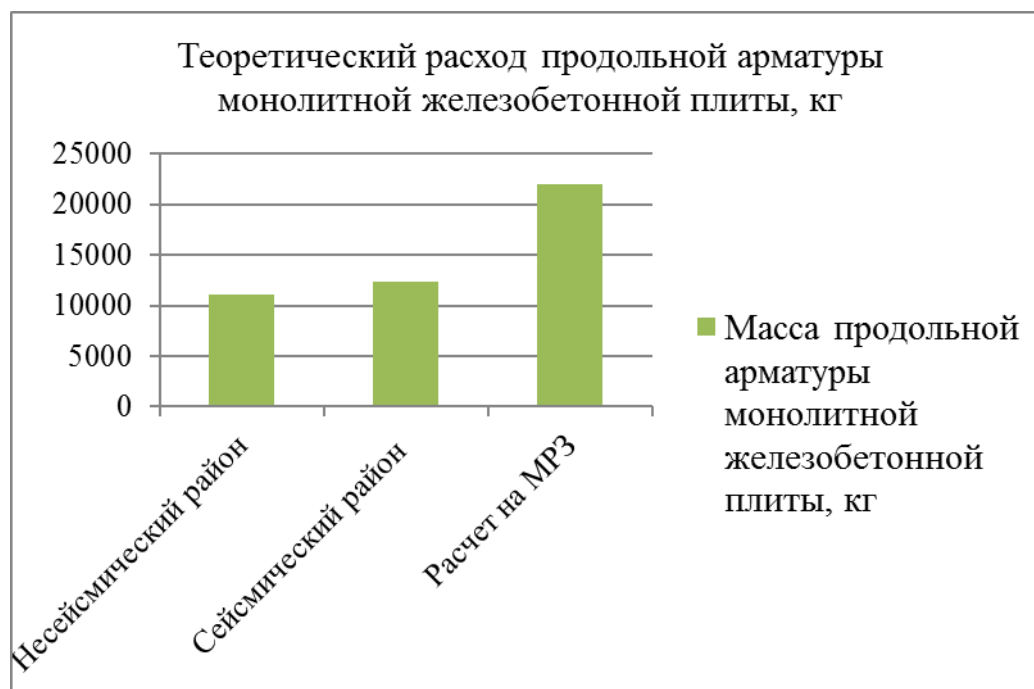


Диаграмма 1. Теоретический расход продольной арматуры в плите.

Инструмент анализа расхода материалов для железобетонных конструкций, реализованный в ПК Лира-САПР (рис. 3...5), очень удобен для предварительной оценки относительного содержания арматуры в конструкциях, а также для выполнения вычислительных экспериментов при научных исследованиях. Однако, следует иметь в виду, что полученный расход арматуры – это только теоретическое армирование и конструктивные требования в части использования определённого сортамента арматуры, или установка конструктивной/монтажной арматуры здесь не учтены. К примеру, содержание арматуры на 1 м^3 бетона по теоретическому армированию соответственно равно: $72,3\text{ кг/м}^3$; $40,2\text{ кг/м}^3$; $36,1\text{ кг/м}^3$. Данные цифры значительно ниже средних по отрасли $120...140\text{ кг/м}^3$, а значит, необходимо их корректировать с учётом всех конструктивных требований.

Для оценки разницы между теоретическим и реальным армированием плиты, была запроектирована плита перекрытия по трём вариантам расчёта с

соблюдением требований СП 63.13330.2018 и СП 14.13330.2018, а также общих принципов конструирования ЖБ конструкций. Ведомости расхода стали, полученные при проектировании приведены на рис. 6, 7, 8.

Ведомость расхода стали на элемент, кг												
Марка элемента	Изделия арматурные											
	Арматура класса											
	A-I (A240)			A-III (A400)								Всего
	ГОСТ 5781-82*			ГОСТ 5781-82*								
	Ø8		Итого	Ø8	Ø10	Ø12	Ø14	Ø16	Ø18		Итого	
Пм1	354,0		354,0	1637,0	4566,0	26554,0	3970,0	12046,0	3354,0		52127,0	524810

Рис. 6. Ведомость расхода стали плиты монолитной при расчете на МРЗ

Ведомость расхода стали на элемент, кг												
Марка элемента	Изделия арматурные											
	Арматура класса											
	A-I (A240)			A-III (A400)								Всего
	ГОСТ 5781-82*			ГОСТ 5781-82*								
	Ø8		Итого	Ø8	Ø10	Ø12		Ø16			Итого	
Пм1	256,0		256,0	1637,0	18182	14267		2751			36837,0	37093,0

Рис. 7. Ведомость расхода стали плиты монолитной при расчете на сейсмическое воздействие (проектное землетрясение 9 баллов).

Ведомость расхода стали на элемент, кг												
Марка элемента	Изделия арматурные											
	Арматура класса											
	A-I (A240)			A-III (A400)								Всего
	ГОСТ 5781-82*			ГОСТ 5781-82*								
	Ø8		Итого	Ø8	Ø10	Ø12	Ø14				Итого	
Пм1	240,0		240,0	1250,0	18474	756	1840				28720,0	28960,0

Рис.8. Ведомость расхода стали плиты монолитной в несейсмическом районе.

Согласно полученным данным фактический расход арматуры при расчете железобетонной плиты на максимальное расчетное землетрясение

составил 52481 кг; при расчёте на проектное землетрясение – 37093 кг, что на 29% меньше; а при расчете этой же плиты в несейсмическом районе – 28960 кг, что на 45% меньше в сравнении с расчётом на МРЗ (Диаграмма 2). Также необходимо обратить внимание на то, что реальный расход арматуры на 1 м³ бетона для данной плиты приблизился к общепринятым показателям (Таблица 1).

Поправочный коэффициент для перехода от теоретического расчётного армирования к фактическому составил:

- без учёта сеймики: $28960/11053=2,62$;
- при расчёте на ПЗ: $37093/12303=3,01$;
- при расчёте на МРЗ: $52481/22029=2,38$.



Диаграмма 2. Фактический расход продольной арматуры в плите.

Таблица 1. Расход арматуры на 1 м³ бетона в плите на отм. +3,750

Расчёт	Расход арматуры на 1 м ³ бетона
Без учёта сеймики	94,7 кг/м ³
Проектное землетрясение 9 баллов	121,3 кг/м ³
Расчет на МРЗ	171,8 кг/м ³

Полученные результаты подтверждают факт, что при строительстве в сейсмических районах без применения методов активной сейсмозащиты

армирование железобетонных конструкций увеличивается. В частности, учёт сейсмичности 9 баллов при расчёте на проектное землетрясение повысил расход арматуры в плите перекрытия на 28 %, при расчёте на максимальное расчётное землетрясение – на 81 %. Величины удельного расхода арматуры на плиту приведены в таблице 1. Использование расчётов на МРЗ без применения активной сейсмоизоляции крайне невыгодно с точки зрения стоимости материалов для строительства.

Кроме того, из сопоставления данных, полученных при помощи инструмента «Расход бетона и арматуры» ПК Лира-САПР с расходом арматуры, вычисленным при проектировании плиты, получено, что поправочный коэффициент для перехода от теоретического расчётного армирования к фактическому составил от 2,4 до 3,0. Данный коэффициент необходимо учитывать, если при выполнении вычислительных экспериментов в научных работах используется ПК Лира-САПР.

Литература

1. Ушаков О.Ю., Алехин В.Н. Метод расчета зданий и сооружений с учетом пространственного характера сейсмического воздействия. // Академический вестник УралНИИпроект РААСН, 2014, №3. URL: cyberleninka.ru/article/n/metod-rascheta-zdaniy-i-sooruzheniy-s-uchetom-prostranstvennogo-haraktera-seysmicheskogo-vozdeystviya.
2. Алехин В.Н., Иванов Г.П., Плетнев М.В., Коковихин И.Ю., Ушаков О.Ю. Расчет зданий и сооружений на сейсмические воздействия. // Академический вестник УралНИИпроект РААСН, 2011, №2. URL: cyberleninka.ru/article/n/raschet-zdaniy-i-sooruzheniyna-seysmicheskie-vozdeystviya.
3. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1 // General rules and rules for buildings, 2004, p.229.



4. ПК ЛИРА-САПР 2016. Проектирование и расчет строительных конструкций. [2016]. URL: liraland.ru/lira/
 5. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа. – М, 2007. – 595 с.
 6. Выскребенцева М.А., Ву Ле Куен. Методы сейсмогашения и сейсмоизоляции с применением специальных устройств // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5656.
 7. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – Киев, 2004. – 344 с.
 8. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures // ACI 440.2R-08. American Concrete Institute, 2008, p. 76.
 9. Мкртчян А.М., Аксенов В.Н. Аналитическое описание диаграммы деформирования высокопрочных бетонов // Инженерный вестник Дона, 2013, №3 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1818/.
 10. Польской П.П., Маилян Д.Р. Влияние различных вариантов внешнего композитного армирования на жесткость гибких сжатых элементов// Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4826
 11. Аксёнов Н.Б., Аушев М.В. Исследование влияния соотношения жесткостей конструктивной системы на динамические параметры многоэтажного здания в зависимости от сейсмичности площадки // Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4416
 12. Польской П.П., Георгиев С.В. Характеристики материалов, используемых при исследовании коротких и гибких стоек, усиленных углепластиком // Научное обозрение, 2014, №10-2. С. 411-414.
-

References

1. Ushakov O.Ju., Alehin V.N. Akademicheskij vestnik UralNIIproekt RAASN (Rus), 2014, №3. URL: cyberleninka.ru/article/n/metod-rascheta-zdaniy-i-sooruzheniy-s-uchetom-prostranstvennogo-haraktera-seysmicheskogo-vozdeystviya.
 2. Alehin V.N., Ivanov G.P., Pletnev M.V., Kokovihin I.Ju., Ushakov O.Ju. Akademicheskij vestnik UralNIIproekt RAASN (Rus), 2011, №2. URL: cyberleninka.ru/article/n/raschet-zdaniy-i-sooruzheniyna-seysmicheskije-vozdeystviya.
 3. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1. General rules and rules for buildings, 2004, p.229.
 4. PK LIRA-SAPR 2016. Proektirovanie i raschet stroitel'nykh konstruktsiy [LIRA-SAPR 2016. Design and calculation of building structures]. URL: liraland.ru/lira/.
 5. Perel'muter A.V., Slivker V.I. Raschetnye modeli sooruzhenij i vozmozhnosti ih analiza [Calculation models of building and possibility of their analysis]. M, 2007. 595 p.
 6. Viskrebenceva M.A., Vu Le Quen. Inzenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5656.
 7. Gorodeckij A.S., Evzerov I.D. Komp'yuternye modeli konstrukcij [Computer models of constructions]. Kiev, 2004. 344 p.
 8. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. ACI 440.2R-08. American Concrete Institute, 2008, p. 76.
 9. Mkrtchyan A.M., Aksenov V.N. Inzenernyj vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1818
 10. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R. Inzenernyj vestnik Dona, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4826
-



11. Aksenov N.B., Aushev M.V. Inzenernyj vestnik Dona, 2017, №4. URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4416
12. Pol'skoj P.P., Georgiev S.V. Nauchnoe obozrenie, 2014, №10-2. pp. 411-414.