

## Экспериментальное исследование воздействия СВЧ-излучения на физико-механические характеристики бетона

*Н.Д. Смирнова*

*Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск*

**Аннотация:** Тепловая обработка бетона наряду с пропариванием является одним из основных методов ускорения твердения бетона и достижения им передаточной, распалубочной и проектной прочности. Данные технологии обработки бетона чаще применяются на заводах при изготовлении бетонных и железобетонных изделий массового производства в пропарочных камерах периодического и непрерывного действия, под переносными колпаками на стендах и других установках или в специальных термоформах, термопакетах, кассетах и т. п. Однако все больше возникает необходимость ускорения набора прочности бетона на строительной площадке в моменте производства строительно-монтажных работ, связанных с новым строительством, ремонтом или реконструкцией существующих строений. Целью исследования является изучение ускорения набора прочности бетона, подверженного тепловой обработке с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ). В статье приведены данные результатов экспериментального исследования бетонных образцов на сжатие, обработанных энергией СВЧ и контрольной группы образцов, набравших прочность в естественных условиях. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о приросте прочности обработанных образцов бетона на 1 сутки на 72.94%, на 2 сутки на 27.83%, на 3 сутки на 14.23%, на 7 сутки на 1.1% в сравнении с образцами, не подвергавшимся СВЧ-воздействию. С 14 суток происходит плавное падение прочности в сравнении с образцами, не подвергавшимися обработке с помощью электромагнитных полей, так, на 14 сутки прочность обработанных образцов бетона уменьшилась на 2.45%, на 21 сутки на 32,17%, на 28 сутки на 25.61%. В результате анализа полученных экспериментальных данных, сделаны выводы о том, что СВЧ-воздействия на бетонный раствор значительно увеличивают прочность бетона на ранних стадиях, но негативно сказываются на проектной прочности бетона в целом.

**Ключевые слова:** сверхвысокочастотное излучение, СВЧ, бетон, тепловая обработка, прочность, строительство.

### Введение

Тепловая обработка бетона наряду с пропариванием является одним из основных методов ускорения твердения бетона и достижения им передаточной, распалубочной и проектной прочности [1]. В настоящее время является общеизвестным эффект СВЧ-полей в бытовых целях, в последние годы широко развиваются и используются технологические процессы [2-4], основанные на использовании эффекта СВЧ-энергии в производственных целях. Не менее эффективным представляется использование полей СВЧ-

---

излучения для активации строительных процессов, в частности, на это указывают публикации о примерах ускорения подготовки деформационных аэродромных покрытий в исследованиях института ВКС [5]. Большой вклад в изучение данных процессов внесли исследования Нефедова В. Н., Мамонтова А. В. [6-8], свидетельствующие об ускорении процесса твердения бетона при использовании в качестве источника тепла энергии микроволнового излучения.

### **Материалы и методы исследования**

Бетонный раствор для экспериментального исследования был запроектирован согласно ГОСТ 27006–2019 «Бетоны. Правила подбора состава» класса В25. Песок подобран средней крупности, плотностью 2650 кг/м<sup>3</sup>, щебень фракции 5-20 мм, плотностью 2720 кг/ м<sup>3</sup>, цемент марки М500.

Для опалубки была выбрана ПВХ труба с внутренним диаметром 100 мм, согласно ГОСТу 10180–2012 «Методы определения прочности по контрольным образцам», при данном диаметре цилиндров высота их должна быть равной или больше диаметра образца.

Формование бетонных образцов происходило в течении получаса после затворения сухих заполнителей водой с последующим вибрированием образцов на виброплощадке. Всего было изготовлено 56 образца (7 серий по 4 образца в каждой), первая - контрольная партия, набиравшая прочность в естественных условиях и вторая - партия обработанных энергией СВЧ-излучения.

Вторая партия образцов по очереди помещалась в микроволновую печь с рабочей частотой колебания электромагнитного поля 2450 МГц на 300 секунд, подъём температуры по всем обработанным образцам в среднем составил 45°С с 19.5°С до 64.3°С. После обработки второй партии СВЧ-излучением, производился своевременный уход за бетонными образцами и размещение контрольной и обработанной партии в камеру для нормального

---

твердения. Испытания образцов бетона на сжатие проводилось на 1, 2, 3, 7, 14, 21 и 28 сутки. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица № 1

Результаты определения прочности бетонных образцов

Маркировка серии образцов	Размеры образцов				Объемная масса образца, кг/м <sup>3</sup>	Разрушающая нагрузка, кН	Предельная прочность на сжатие МПа	
	Радиус 1, см	Радиус 2, см	Высота, см	Масса, г			отдельного образца	среднее
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обработанные СВЧ №1 (1 сутки)	10.58	10.5	11.2	2328.6	2382.93	80	9.17	11.57
	10.5	10.6	11.3	2316.8	2345.44	88	10.07	
	10.6	10.4	11	2297.5	2412.31	122.8	14.18	
	10.4	10.7	11.6	2390.4	2357.79	112.4	12.86	
Обычное твердение №1 (1 сутки)	10.52	10.5	11.3	2386	2433.87	46.4	5.35	6.69
	10.5	10.55	10.7	2280.2	2449.39	62.4	7.17	
	10.48	10.5	11.1	2304.2	2401.91	64.4	7.45	
	10.5	10.55	10.8	2273.1	2419.15	59.2	6.8	
Обработанные СВЧ №2 (2 сутки)	10.62	10.48	11	2276.8	2367.86	126.8	14.51	14.01
	10.6	10.5	11.6	2405.3	2372.06	116.8	13.36	
	10.64	10.52	11	2283.1	2360.94	123.3	14.03	
	10.5	10.54	11.48	2332.8	2337.85	122.8	14.13	
Обычное твердение №2 (2 сутки)	10.55	10.45	11.05	2294.4	2397.99	111.6	12.89	10.96
	10.55	10.5	11.5	2380.1	2378.84	99.6	11.45	
	10.4	10.7	10.88	2301.3	2420.12	86.4	9.89	
	10.52	10.54	11.22	2351.1	2406.2	83.6	9.6	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обработка нные СВЧ №3 (3 сутки)	10.6	10.45	11.6	2404.5	2382.62	118	13.56	14.29
	10.56	10.62	11.1	2288.3	2340.52	141.2	16.03	
	10.62	10.42	11.06	2240.1	2330.4	86.6	-	
	10.5	10.62	11.4	2353.6	2357.35	116.4	13.29	
Обычное твердение №3 (3 сутки)	10.52	10.52	11.6	2400.8	2381.09	98	11.27	12.51
	10.52	10.42	12.1	2512.2	2411.55	124.8	14.5	
	10.5	10.6	10.98	2282.1	2377.65	102.8	11.76	
	10.5	10.58	10.72	2235.5	2390.09	146	-	
Обработка нные СВЧ №4 (7 сутки)	10.48	10.6	10.9	2250.5	2366.44	125	21.495	21.07
	10.52	10.52	11.58	2378.2	2362.75	132	22.785	
	10.42	10.58	11.65	2359.4	2339.01	125	21.66	
	10.42	10.6	11.8	2401.4	2345.95	106	18.33	
Обычное твердение №4 (7 сутки)	10.52	10.5	11.2	2300.2	2367.3	187	21.55	20.84
	10.44	10.56	11.2	2340.3	2413.23	117	18.3	
	10.68	10.36	11.2	2297.3	2360.36	199	22.9	
	10.48	10.56	11.18	2319.2	2386.61	204	20.6	
Обработка нные СВЧ №5 (14 сутки)	10.44	10.62	11.66	2386.2	2350.14	184	21.13	20.27
	10.54	10.52	11.18	2290.2	2352.26	180	20.67	
	10.5	10.62	10.8	2256.5	2385.66	185	21.12	
	10.5	10.62	10.8	2212.5	2339.14	159	18.15	
Обычное твердение №5 (14 сутки)	10.5	10.5	11.6	2444.6	2433.78	194	22.4	20.78
	10.5	10.56	11.3	2357.3	2395.48	156	17.91	
	10.62	10.46	11.06	2293.7	2377.03	172	19.71	
	10.52	10.38	12.2	2513.5	2402.24	198	23.09	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обработка нные СВЧ №6 (21 сутки)	10.6	10.4	11.7	2399.8	2368.97	165	19.06	16.38
	10.52	10.52	10.54	2132.4	2327.59	110	12.66	
	10.5	10.52	11.8	2400.5	2344.9	112	12.91	
	10.52	10.54	11.9	2482.1	2395.11	182	20.9	
Обычное твердение №6 (21 сутки)	10.5	10.52	11.68	2446	2413.9	216.5	24.96	24.15
	10.54	10.52	11.24	2334.9	2385.37	209.5	24.06	
	10.62	10.46	10.5	2189.6	2390.17	204.5	23.44	
	10.5	10.52	11.1	2327.2	2416.66	104	-	
Обработка нные СВЧ №7 (28 сутки)	10.7	10.38	11.4	2348.2	2361.34	116	-	19.4
	10.6	10.5	11	2260.1	2350.44	186	21.28	
	10.42	10.58	11.4	2337	2367.61	159	18.36	
	10.6	10.48	11.7	2379.4	2330.9	162	18.57	
Обычное твердение №7 (28 сутки)	10.68	10.4	11.4	2292.6	2305.31	233	26.71	26.08
	10.44	10.56	10.8	2270.4	2427.86	271	31.3	
	10.48	10.5	11.2	2343.7	2421.27	220	25.46	
	10.62	10.46	10.8	2240.8	2378.12	182	20.86	

*Примечания.* 1. В таблице предельная прочность бетона на сжатие кг/см для отдельных образцов не указана, т.к. разрушение происходило неудовлетворительно.

Полученные результаты эксперимента ускорения твердения бетона показывают в раннем возрасте значения прочности обработанных образцов выше, чем у образцов, подвергшихся твердению в обычных условиях [9]. Однако, после 14 суток, результаты эксперимента меняются на противоположные, обработанные СВЧ-воздействием бетонные образцы замедляют скорость набора прочности, что видно из графика роста прочности бетонных образцов, представленного на рис.1.

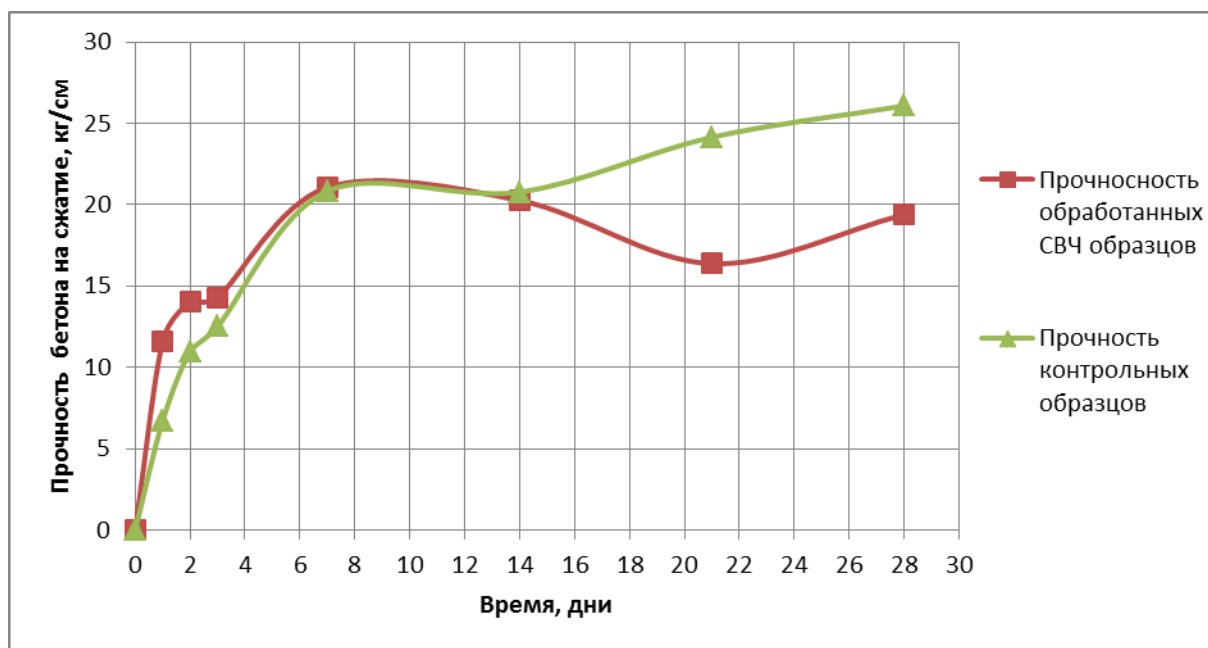


Рис.1. - График роста прочности бетонных образцов

### Выводы

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о приросте прочности обработанных образцов бетона на 1 сутки в 1.73 раза, на 2 сутки в 1.28 раза, на 3 сутки в 1.14 раза, на 7 сутки значение прочности обработанных СВЧ-излучением образцов и образцов естественного твердения выравнивается, и с 14 суток начинается замедление скорости набора прочности бетона обработанных образцов. Так, на 14 сутки, прочность обработанных образцов бетона уменьшилась в 0.97 раз, на 21 сутки в 0.68 раз, на 28 сутки в 0.74 раза. По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Суммарная температура микроволнового излучения и выделяемого в процессе гидратации тепла только что заформованного материала должны поддерживаться ниже максимально установленной температуры [9].

2. Значительный прирост прочности бетона на первые несколько суток позволяет сократить время проведения ремонтных работ и затраты на энергообеспечение данного процесса [10].

3. Процесс набора прочности бетона сложный, большое влияние на гидратацию цементного камня оказывает температура и время тепловой обработки, что непосредственно сказывается на количестве гидросиликатов цементного камня [11].

Таким образом, при правильном подборе параметров поднятие температуры, времени выдержки бетона перед воздействием СВЧ-энергии, водоцементным отношением, подбираемой мощности на источник СВЧ энергии можно добиться увеличения прочности бетона для проведения ремонтных работ.

### Литература

1. Осадченко А.М., Терёхина Ю.В., Новикова А.С. Об эффективности комплексного теплого бетонирования и водного горячего твердения бетона // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2100>.

2. Ревенко Б.С. Получение ячеистых бетонов с привлечением СВЧ технологий // Молодой ученый. 2017. № 14. С. 118-119.

3. Лаптева С.Н., Павленко В.И., Гладких Ю.П. СВЧ - обработка поверхностно-модифицированного кварцевого песка и ее влияние на твердение и прочность гипсо-песчаных композиций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2016. №12. С.152-154

4. Вабищевич К.Ю., Коновалов Н.П., Хозеев Е.О. Применение СВЧ энергии для модификации резино-битумных вяжущих // Инженерный вестник Дона, 2019, №8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6127](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6127)

5. Дорняк О.Р., Недоносков А.Б. Способ термообработки деформационного шва аэродромного покрытия с использованием СВЧ-воздействия // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2021. №17. С. 66-75.

6. Нефедов В. Н., Мамонтов А. В., Тепловая обработка бетона с использованием микроволнового излучения // Инновационные информационные технологии. 2013. №2-3. С. 258-264.

7. Mamontov A.V., Nefedov V.N., Simonov V.P., Chechetkin A.A. Microwave method of curing of concrete // T-Comm. 2016. Vol. 10. No.8, pp. 79-82.

8. Нефёдов В. Н., Мамонтов А. В. Применение микроволнового излучения для тепловой обработки бетона // 25-я Международная Крымская конференция СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. Материалы конференции. 2015. Т1., С. 944-945.

9. Zhiyang Gao, Yan He, Meng Li, Mingjing Jiang, Junan Shen. mpacts of microwave on hydration evolution of Portland cement in the perspective of composition and microstructure of hydrates // Construction and Building Materials. 2022. Vol. 2022. pp. 856-866 URL: doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129569.

10. Mangat P.S., Grigoriadis K., Abubakri S. Microwave curing parameters of in-situ concrete repairs // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 112. pp. 856-866.

11. Гныря А.И., Абзаев Ю.А., Коробков С.В., Гаусс К.С. Влияние времени и температуры твердения на структурообразование цементного камня // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018;(2). С. 171-185. URL: doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-2-171-185.

### References

1. Osadchenko A.M., Teryohina YU.V., Novikova A.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2100.

2. Revenko B.S. Molodoj uchenyj. 2017. № 14. pp. 118-119.





3. Lapteva S.N., Pavlenko V.I., Gladkikh Yu.P. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. SHuhova. 2016. №12. pp.152-154.
4. Vabishchevich K.YU., Konovalov N.P., Hozeev E.O. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6127](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6127)
5. Dornyak O.R., Nedonoskov A.B. Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika. 2021. №17. pp. 66-75.
6. Nefedov V. N., Mamontov A. V. Innovacionnye informacionnye tekhnologii. 2013. №2-3. pp. 258-264.
7. Mamontov A.V., Nefedov V.N., Simonov V.P., Chechetkin A.A. T-Comm. 2016. Vol. 10. No.8, pp. 79-82.
8. Nefedov V. N., Mamontov A. V. 25-ya Mezhdunarodnaya Krymskaya konferenciya SVCH-tehnika i telekommunikacionnye tekhnologii. Materialy konferencii. 2015. T1., pp. 944-945.
9. Zhiyang Gao, Yan He, Meng Li, Mingjing Jiang, Junan Shen. Construction and Building Materials. 2022. Vol. 2022. pp. 856-866 URL: [doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129569](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129569).
10. Mangat P.S., Grigoriadis K., Abubakri S. Construction and Building Materials. 2016. Vol. 112. pp. 856-866.
11. Gnyrya A.I., Abzaev Yu.A., Korobkov S.V., Gauss K.S. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2018;(2). pp. 171-185. URL: [doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-2-171-185](https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-2-171-185).