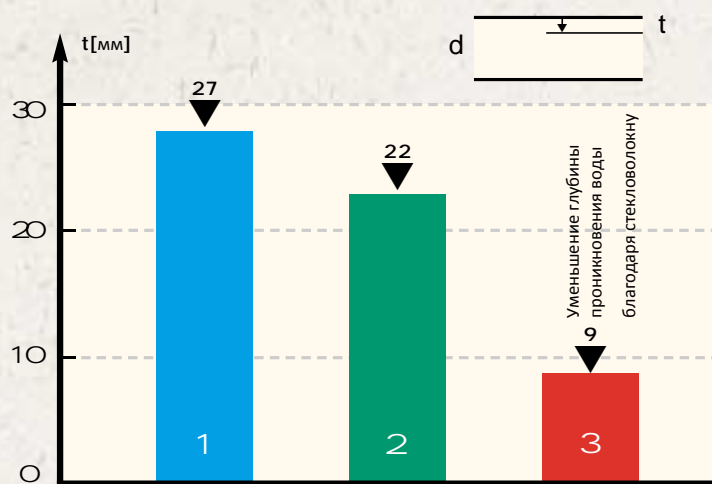


# КРЭКНОН (AR-CRACKNON™) - щелочестойкая стеклофибра, которая увеличивает долговечность бетона за счет сдерживания трещинообразования

Образование трещин в бетоне негативно сказывается на его долговечности. Щелочестойкие стекловолокна, из которых состоит **КРЭКНОН**, имеют высокий предел прочности при растяжении – в три раза выше, чем у стали, и высокий модуль упругости (модуль Юнга) - более чем в 10 раз выше, чем у волокна из полипропилена и в три раза выше, чем у выдержанного бетона. Сочетание этих свойств обеспечивает эффективное предупреждение образования трещин в бетоне при пластической усадке и контракционной влажностной усадке.

Стеклофибра **КРЭКНОН** либо вообще предотвращает трещинообразование, либо меняет сам характер и форму трещин, преобразуя несколько больших широко раскрытых трещин в большее количество мельчайших и тонких трещин. В обоих случаях долговечность бетона увеличивается за счет снижения водопроницаемости и водопоглощения, а также уменьшения глубины карбонизации (насыщения углекислым газом) бетона.

## ГЛУБИНА ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ (бетон для автострад)



- |   |   |   |
|---|---|---|
| 1 | Содержание цемента  | Цемент = 350 кг/м <sup>3</sup>  |
| 2 | Содержание цемента<br>Содержание золы-уноса                   | Цемент = 290 кг/м <sup>3</sup><br>Зола-унос = 60 кг/м <sup>3</sup>                                  |
| 3 | Содержание цемента<br>Содержание золы-уноса<br>КРЭКНОН 127 мм | Цемент = 290 кг/м <sup>3</sup><br>Зола-унос = 60 кг/м <sup>3</sup><br>КРЭКНОН = 4 кг/м <sup>3</sup> |

РИС. 1

## ГЛУБИНА КАРБОНИЗАЦИИ

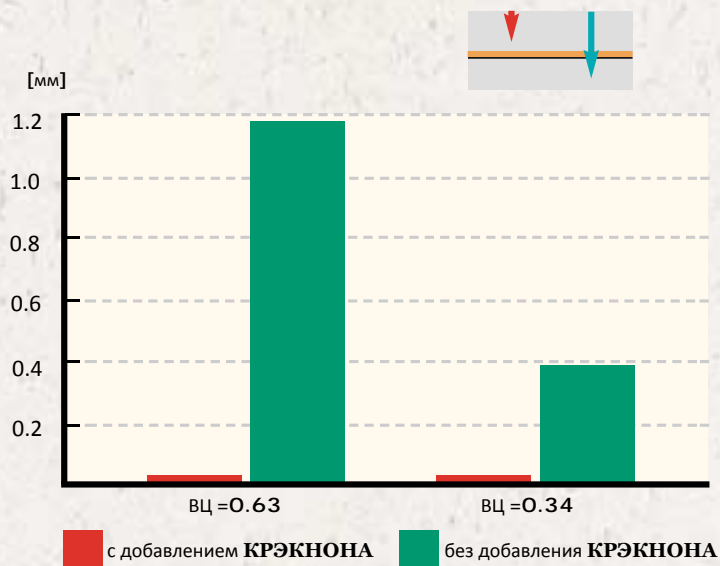


РИС. 2



# ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

Когда в бетоне появляются трещины, есть три пути решения этой проблемы: произвести ремонтно-восстановительные работы, заменить всю конструкцию целиком, вообще игнорировать эти трещины. При добавлении стеклянных волокон **КРЭЖНОН** в бетонную смесь, трещины могут быть сведены к минимуму, изменены или вовсе устранены, т.е. проблема трещинообразования в бетоне будет решена. Механизм работы стекловолокна **КРЭЖНОН** по устранению трещин основан на трех факторах.

Прежде всего, благодаря высокому пределу прочности при растяжении щелочестойкие стеклянные волокна, которые входят в состав **КРЭЖНОНА**, не разрываются под воздействием напряжения, вызываемого трещиной.

Во-вторых, волокна **КРЭЖНОН** имеют больший модуль Юнга (продольной упругости) чем бетонная матрица, в силу чего трещины вообще не возникают, т.к. бетон может передать растягивающие напряжения и деформации на волокна.

Большую роль играет содержание волокна в смеси. Стекловолокно **КРЭЖНОН** может добавляться в смесь в количестве достаточном для его равномерного распределения по всему объему смеси с тем, чтобы любые трещины, которые только начинают образовываться, были бы остановлены волокнами, и было бы предотвращено их дальнейшее распространение по всей массе бетона.

ХАРАКТЕРИСТИКИ	ЕДИН.	ПЛАСТИК	СТАЛЬ	СТЕКЛОВОЛОКНО	БЕТОН
Прочность при растяжении	МПа	482,64	689,46	2068,39	3,79
	МПа	4136,79	199944,84	75841,14	27578,59
Удлинение при разрыве	%	50-150	5-35	2	2-3
Кажущаяся плотность	г/см <sup>3</sup>	1.0	7.85	2.7	
Длина	мм	19,0	25,4 - 50,8	12,7 - 38,1	
Диаметр		0,03	0.76	0.12	
Число моноволокон	в 1 куб.дм (0,001 куб.м)	60 000 000	21 667	200 000 000	

ТАБЛИЦА 1

Стеклянные, стальные и пластиковые волокна как правило используются для сдерживания образования трещин в бетоне. В таблице 1 приведены типичные физические свойства каждого из этих волокон.

Только щелочестойкая стеклофибра **КРЭЖНОН** обеспечивает уникальное сочетание следующих свойств:

- Высокая прочность при растяжении
- Высокий модуль Юнга (продольной упругости)
- Малый диаметр волокна. т.е. большое количество индивидуальных волокон на кг
- Максимально возможное содержание волокна
- Щелочестойкость

## А ВАШЕ СТЕКЛОВОЛОКНО ЩЕЛОЧЕСТОЙКОЕ?

Щелочестойкость стеклянных волокон (Alkali Resistance - AR) - это определяющий показатель и главное требование к стекловолокну, применяемому в бетоне!

Стекловолокно должно противостоять разрушающему воздействию щелочной среды бетона. Только присутствие диоксида циркония (ZrO<sub>2</sub>) в составе стекла обеспечивает ему подлинную щелочестойкость!

В высокощелочной среде бетона стекло обычного типа (боросиликатное стекло или класс "Е" в международной классификации), которое применяется для армирования пластика, быстро разрушается под воздействием щелочи. Для армирования бетонных матриц требуется только стекло особого химического состава, т.е. с содержанием диоксида циркония, а не просто обычное волокно с защитным покрытием от коррозии. Чем выше содержание диоксида циркония, тем надежнее защита стекловолокна от щелочи. Именно поэтому уровень диоксида циркония (ZrO<sub>2</sub>) в стекловолокне **КРЭЖНОН** составляет минимум 19%.

# С ПОМОЩЬЮ СТЕКЛОВОЛОКНА КРЭЖНОН

## КАК КРЭЖНОН ПРЕДОТВРАЩАЕТ ОБРАЗОВАНИЕ ТРЕЩИН В БЕТОНЕ?

Трещины в бетоне возникают в результате пластической усадки, влажностной усадки и напряжений, вызываемых нагрузками. Когда трещины образуются, любые возникающие напряжения передаются через трещины по армирующим волокнам. Ширина раскрытия трещин будет зависеть от числа присутствующих в бетоне волокон, их поперечного сечения и модуля Юнга.

Стекловолокно **КРЭЖНОН** обладает высокой плотностью и высоким модулем Юнга. Сочетание этих свойств и обеспечивает сдерживание распространения трещин. Чем выше содержание волокон в бетоне, тем эффективнее их работа по сдерживанию трещинообразования.

## ДОЗИРОВКА СТЕКЛОВОЛОКНА КРЭЖНОН

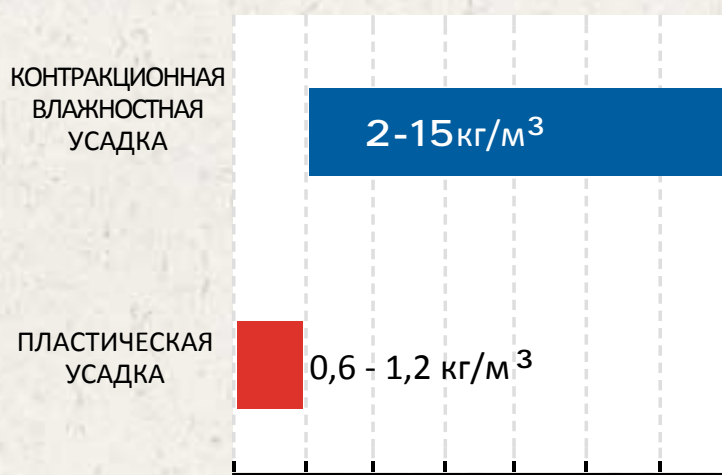


РИС. 3

Точная дозировка волокна **КРЭЖНОН** зависит от рецептуры бетонной смеси и от той задачи, которую оно призвано решать.

## РАЗЛИЧНАЯ ПЛОЩАДЬ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ РАЗНЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ОДНОЙ И ТОЙ ЖЕ НАГРУЗКИ

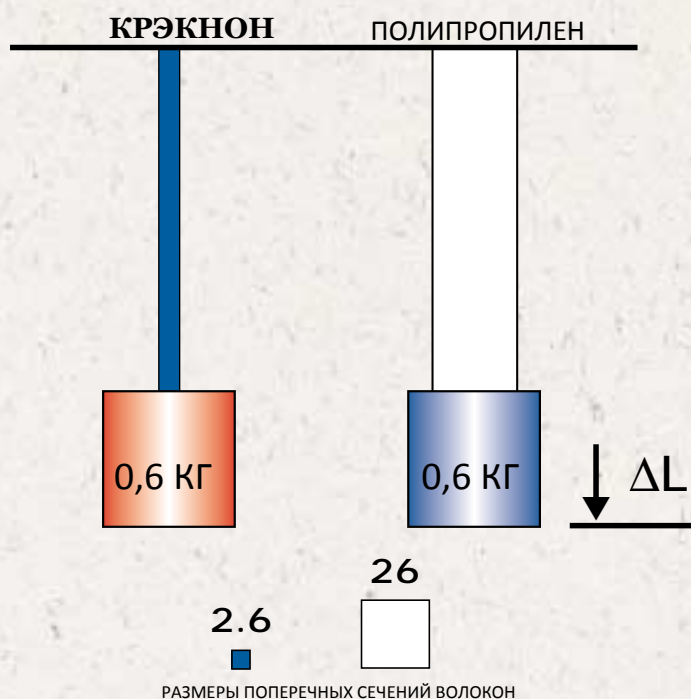


РИС. 4

На рисунке 4 показано, что для выдерживания одинаковой нагрузки поперечное сечение пластиковых волокон должно быть в 10 раз больше чем у стеклянных волокон.

## СТЕКЛОВОЛОКНО КРЭЖНОН В СРАВНЕНИИ С ДРУГИМИ ВОЛОКНАМИ

Эффективность работы волокон в бетоне зависит от того, насколько модуль Юнга (продольной упругости) волокна выше модуля Юнга бетона. Чем выше модуль Юнга волокна, тем выше сопротивление силам и напряжениям в бетоне. В сравнительной таблице 1 приведены значения Модуля Юнга для различных волокон. Модуль Юнга стеклянных и стальных волокон выше этого модуля у затвердевшего бетона и, следовательно, эти волокна более эффективны в сдерживании трещинообразования в бетоне.

# УСПЕШНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КРЭЖНОНА



## ТОРКРЕТ-БЕТОН — стекловолочно **КРЭЖНОН**

применяется в бетонных смесях, наносимых методом торкретирования при ремонте и восстановлении конструкционного бетона, поскольку оно препятствует усадочному трещинообразованию при высыхании, удобно в обращении, легко перемешивается в смеси, подается насосом и напыляется. Бетонная поверхность при этом остается гладкой, отсутствует ворсистость, так как волокна укладываются внутри бетонного слоя, не выступают и невидны на поверхности. Возможна и высокая дозировка этого стекловолокна, исключая возникновение трещин в торкрет-бетоне.

(Фото любезно предоставлены компанией U.S. Shotcrete.)



## ПАНЕЛИ ИЗ СБОРНОГО И ПРЕДНАПРЯЖЕННОГО БЕТОНА —

Сетки из стекловолокна **КРЭЖНОН** используются для предотвращения трещинообразования в сборных и преднапряженных железобетонных панелях. Сетка раскатывается по поддону формы, затем устанавливается (или натягивается) стальная арматура и укладывается бетонная смесь. Второй слой сетки раскладывается прямо по поверхности свежееуложенного бетона. Сетка помогает уменьшить ширину раскрытия трещин или вовсе их устранить, повышая таким образом долговечность бетонной панели.

Хотя **КРЭЖНОН** не может заменить конструкционную арматуру в панелях из сборного железобетона, оно вполне может применяться для замены стальной арматуры, предназначенной для устранения усадочных и температурных напряжений.



# В РАЗНЫХ ОБЛАСТЯХ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОНА

## БЕТОННЫЕ ПЛИТЫ НА ГРУНТОВОМ ОСНОВАНИИ —

Фундаментная плита двухэтажного дома была залита без применения стальной арматуры. Сначала на полиэтиленовую водонепроницаемую пленку была уложена щелочестойкая стеклосетка или стеклохолст КРЭКНОН. Далее прямо на сетку был уложен бетон, содержащий рубленые стеклопряди **КРЭКНОН** длиной 13 мм в количестве 4,7 - 5 кг на куб.м бетона. Вторая стеклосетка затем укладывается на свежеложенный бетон и слегка вдавливается в поверхностный слой бетона с помощью терки или рейки. Мелкие частицы бетона обвалакивают оба слоя стеклосетки и закрывают их таким образом, что сетка оказывается в теле бетонной плиты. Такая фундаментная плита, армированная с помощью стекловолокна **КРЭКНОН**, может без проблем принимать на себя небольшую нагрузку от двухэтажного строения и будет гораздо в меньшей степени подвержена усадочному трещинообразованию, чем обычная плита армированная стальной сеткой.



**ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ** — Поскольку стекловолокна **КРЭКНОН** при добавлении в бетон в достаточном количестве способны вообще устранять усадочное трещинообразование или сводить его к незначительным узким трещинам, они могут обеспечивать бетонным конструкциям водонепроницаемость или непроницаемость для любых иных жидкостей. На рис. 1 показаны результаты испытаний на водонепроницаемость. При дозировке **КРЭКНОНА** 4,7 - 5 кг на куб.м бетона глубина проникновения воды в бетон снизилась на две трети по сравнению с обычным бетоном. Такое существенное улучшение непроницаемости бетона не только повышает его долговечность, но также позволяет выпускать бетон водонепроницаемый бетон для гидросооружений, как это было сделано на объекте, фото которого представлено слева.

(Фото любезно предоставлены компанией Novacrete)

# Испытания доказывают: КРЭЖНОН может

## ВЫСОКАЯ ДОЗИРОВКА КРЭЖНОНА - ЕЩЕ ОДНА ПРИЧИНА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН

Эффективность сдерживания трещинообразования в бетоне зависит от числа волокон на единицу объема. По причине малого диаметра волокон **КРЭЖНОН** в одном фунте этих стекловолокон будет в три раза больше по сравнению с пластиковыми волокнами и в сотни тысяч раз больше в сравнении со стальными волокнами. Поскольку каждое отдельное взятое волокно является потенциальной преградой трещине, то, соответственно, волокна **КРЭЖНОН** являются более эффективными, чем другие типы волокон.

## СДЕРЖИВАНИЕ РАСКРЫВАЕМОСТИ ТРЕЩИН

Благодаря высокому модулю Юнга, которым обладает **КРЭЖНОН**, трещины начинают образовываться при более высоком напряжении, а ширина раскрытия трещин при данном напряжении уменьшается. Испытания показали, что долговечность бетона напрямую зависит от отсутствия трещин, превышающих по ширине  $100 \times 10^{-3}$  мм. Испытания торкрет-бетона с добавлением **КРЭЖНОНА** в условиях экстремального высыхания (Таблица 2) показали, что максимальная ширина трещин составляет  $79 \times 10^{-3}$  мм, в то время как при тех же условиях максимальная ширина трещин в бетоне, армированном полипропиленовыми волокнами, составляет  $248 \times 10^{-3}$  мм.

Наряду с предупреждением трещинообразования **КРЭЖНОН** в равной степени эффективно может изменить поведение трещин в бетоне с обычной стальной арматурой. Так, щелочестойкие стекловолоконные способствуют трансформации крупных по размеру и широко открытых трещин, образующихся в бетоне подвергнутом напряжению, в множество мелчайших и очень тонких трещин. Это, несомненно, способствует значительному увеличению срока службы бетонных конструкций.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕЩИН В ЧИСЛОВОМ ВЫРАЖЕНИИ (ИЗМЕРЕНИЕ В ВОЗРАСТЕ 14 ДНЕЙ)

ХАРАКТЕРИСТИКА	Метод определения/единицы измерения	СТЕКЛО NEG	ПЛАСТИК
(1) ПЛОЩАДЬ ПОДСЧЕТА	ПЛОЩАДЬ ПОВЕРХНОСТИ ТОРКРЕТ-БЕТОНА [кв.м]	1.939	1.779
(2) КОЛИЧЕСТВО ТРЕЩИН	ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ПОДСЧЕТОМ ТРЕЩИН	22	36
(3) ДЛИНА	СУММА ДЛИН ВСЕХ ТРЕЩИН [мм]	3319.00	6639.00
(4) ПЛОЩАДЬ ТРЕЩИН	СУММА ДЛИН x ШИРИН ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТРЕЩИН [кв.мм]	141.90	341.90
(5) УДЕЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВО ТРЕЩИН	= (2)/(1) [фунт <sup>-2</sup> ]	1.05	1.88
(6) УДЕЛЬНАЯ ДЛИНА ТРЕЩИН	= (3)/(1) [мм <sup>-1</sup> ]	158.5	347.5
(7) УДЕЛЬНАЯ ПЛОЩАДЬ ТРЕЩИН	= (4)/(1)/144 [%]	0.007	0.019
(8) СРЕДНЯЯ ДЛИНА ТРЕЩИН	[мм]	150.9	184.1
(9) СРЕДНЯЯ ШИРИНА ТРЕЩИН	[мм]	$40.6 \times 10^{-3}$	$50.8 \times 10^{-3}$
(10) МАКС. ШИРИНА ТРЕЩИН	[мм]	$78.7 \times 10^{-3}$	$249 \times 10^{-3}$

Таблица 2

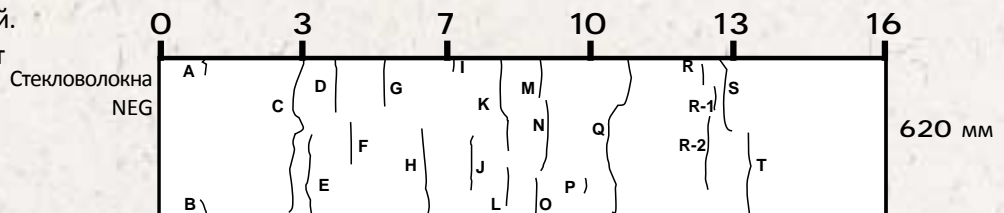
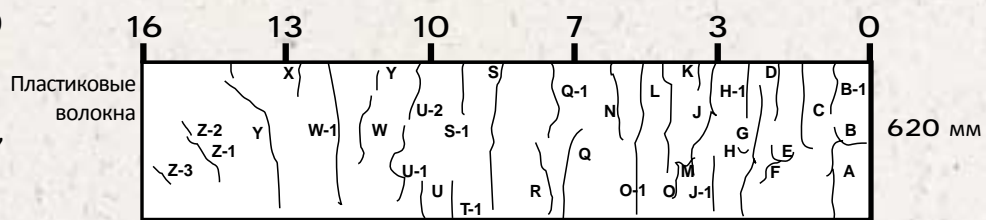


РИС. 7

# ОСТАНАВЛИВАТЬ ТРЕЩИНЫ ДО ИХ ПОЯВЛЕНИЯ

## СДЕРЖИВАНИЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В БЕТОНЕ ОТ ПЛАСТИЧЕСКОЙ УСАДКИ С ПОМОЩЬЮ ЩЕЛОЧЕСТОЙКИХ РУБЛЕННЫХ СТЕКЛОПРЯДЕЙ **КРЭКНОН**

СОСТАВ БЕТОННОЙ СМЕСИ (кг/куб.м)

ВОДА	ЦЕМЕНТ	МЕЛКИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ	КРУПНЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ	ДОЗИРОВКА ЩЕЛОЧЕСТОЙКИХ РУБЛЕННЫХ СТЕКЛОПРЯДЕЙ <b>КРЭКНОН</b>			
249	578	578	578	1	2	3	4
				0	0,6 кг/м <sup>3</sup>	1,2 кг/м <sup>3</sup>	2,4 кг/м <sup>3</sup>
				0	1	2	4

## СДЕРЖИВАНИЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В БЕТОНЕ ОТ ПЛАСТИЧЕСКОЙ УСАДКИ С ПОМОЩЬЮ ЩЕЛОЧЕСТОЙКОЙ СТЕКЛОСЕТКИ **КРЭКНОН**

СОСТАВ БЕТОННОЙ СМЕСИ (кг/куб.м)

ВОДА	ЦЕМЕНТ	МЕЛКИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ	КРУПНЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ	ПРОЧИЕ ВИДЫ ИЗДЕЛИЙ-ПРОИЗВОДНЫЕ ОТ СТЕКЛОВОЛОКНА <b>КРЭКНОН</b>	
249	578	578	578	ИЗДЕЛИЕ без сетки	СЕТКА LW110
				ВЕС (унция/кв.фут)	0.36
				ВТОРИЧНОЕ ВЯЖУЩЕЕ (%)	20
				РАЗМЕР ЯЧЕЙКИ (мм)	25.4 x 25.4

### РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЯ ОБРАЗОВАВШИХСЯ ТРЕЩИН

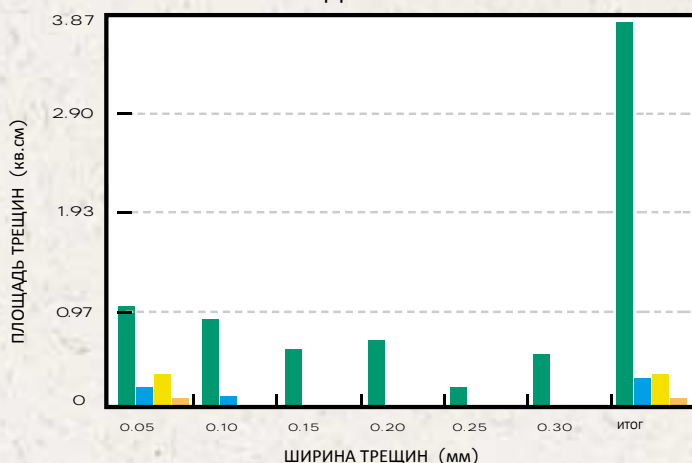


РИС. 5

## КАК ВОЗДЕЙСТВУЕТ ВОЛОКНО НА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ ОТ КОНТРАКЦИОННОЙ ВЛАЖНОСТНОЙ УСАДКИ?

В таблице 2 и на рисунке 7 показаны результаты испытаний панелей (0,6 x 4,9 м), изготовленных методом пневмонабрызга и с добавлением рубленых стеклопрядей **КРЭКНОН** длиной 25 мм в количестве 15 кг/куб.м, на предмет сдерживания трещин от контракционной влажностной усадки. При этом условия выдерживания изделий были крайне суровыми (38°С и <40% относительной влажности через одни сутки). Трещины были изучены через 14 суток выдерживания изделий в таких условиях. Трещин шириной более  $79 \times 10^{-3}$  мм выявлено не было.

У панелей, изготовленных тем же методом но с добавлением пластиковых волокон, количество трещин было почти вдвое больше, а максимальная ширина этих трещин составляла  $249 \times 10^{-3}$  мм.

ИТОГ испытаний: в большинстве климатических условий, менее суровых, чем были смоделированы на испытаниях, стекловолокно **КРЭКНОН** будет устранять трещинообразование от контракционной влажностной усадки.

### РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЯ ОБРАЗОВАВШИХСЯ ТРЕЩИН

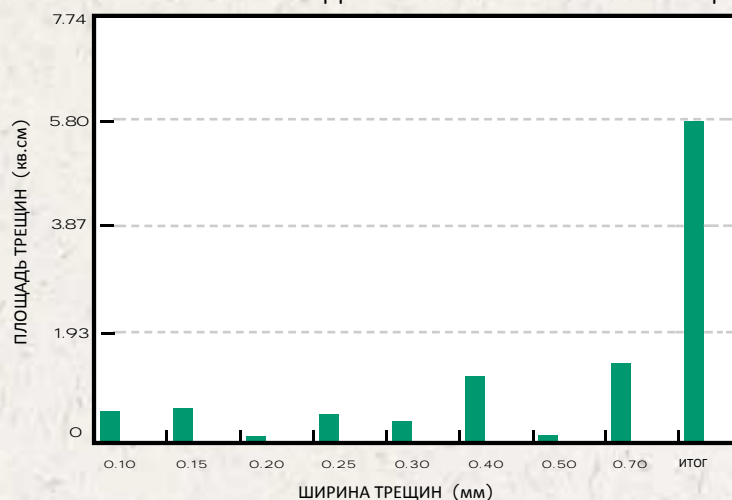


РИС. 6

## КАК ЭТИ ВОЛОКНА БОРЮТСЯ С ОБРАЗОВАНИЕМ ТРЕЩИН ОТ ПЛАСТИЧЕСКОЙ УСАДКИ?

Стекловолокна **КРЭКНОН**, даже при малой дозировке - 0,6 кг/куб.м - значительно снижают трещинообразование от пластической усадки. На рисунке 5 показан эффект от применения **КРЭКНОНА** длиной 13 мм при различной дозировке. Дозировка 2,4 кг/куб.м позволит существенно уменьшить трещинообразование от пластической усадки.

**КРЭКНОН** в виде тканей также значительно сокращают трещинообразование от пластической усадки. На рис. 6 показано, что сетка **КРЭКНОН** марки LW110 с размером ячейки 25,4 x 25,4 мм и при весе 0,36 унций на кв. фут устраняет все трещины от пластической усадки.

# ШИРОКАЯ ГАММА ВОЛОКОН КРЭЖНОН ДЛЯ ВАШИХ РАЗНООБРАЗНЫХ ЗАПРОСОВ

(Фото любезно предоставлено компанией Novacrete)



## РУБЛЕННЫЕ СТЕКЛОПРЯДИ

Рубленые стеклопряди **КРЭЖНОН** нарезаются из жгута, состоящего из моноволокон. Эти элементарные волокна очень тонкие, обычно диаметром 13 или 18 микрон. Жгут образуется путем сложения 50, 100 или 200 моноволокон, а нарубаемые из жгута пряди могут быть длиной 13, 19, 25 и 38 мм. Это дает возможность подбирать наиболее оптимальное по своим свойствам волокно для той или иной области бетонного производства. Так, например, волокно, наилучшим образом подходящее для устранения трещин от пластической усадки не обязательно будет эффективным для сдерживания трещинообразования при усадке от высыхания.

Пряди могут быть обработаны таким образом, что пучки элементарных волокон либо остаются цельными и не распадаются в процессе перемешивания и укладки смеси, либо наоборот разделяется на многочисленные моноволокна при приготовлении смеси в смесителе.

Стеклопряди **КРЭЖНОН** просты и удобны в обращении. Будучи достаточно мягкими, они не наносят царапин, легко и быстро разделяются в смеси, в связи с чем время перемешивания сведено к минимуму. В отличие от других типов волокон поверхность изделий с добавлением стекловолокна остается гладкой, отсутствует ворсистость или следы коррозии.



## СТЕКЛОСЕТКИ и СТЕКЛОХОЛСТЫ

Другим видом продукции на основе стекловолокна **КРЭЖНОН** являются стеклосетки и стеклохолсты. Преимущество этого вида изделий в том, что они могут быть уложены в такие участки бетонных изделий, где эффект от их применения будет максимальным.

Поскольку коррозия в данном случае исключена, стеклоткани могут быть уложены в поверхностный слой бетона, где растягивающие напряжения, и вызываемое ими трещинообразование, как правило, самые значительные.



## СТЕКЛОРОВИНГ

**КРЭЖНОН** может поставляться также в виде непрерывного стекложгута (стеклоровинга), что создает удобство для пользователя самому получать необходимое количество стеклопрядей и изменять их дозировку по своему усмотрению. Рубящее устройство, с помощью которого регулируется также и длина стеклопрядей, устанавливается над смесителем или совмещается с транспортером, подающим волокно в смеситель. С помощью таймера задается время, в течение которого будет нарублено и загружено в смеситель требуемое количество стеклофибры.



Nippon Electric Glass Co., Ltd.