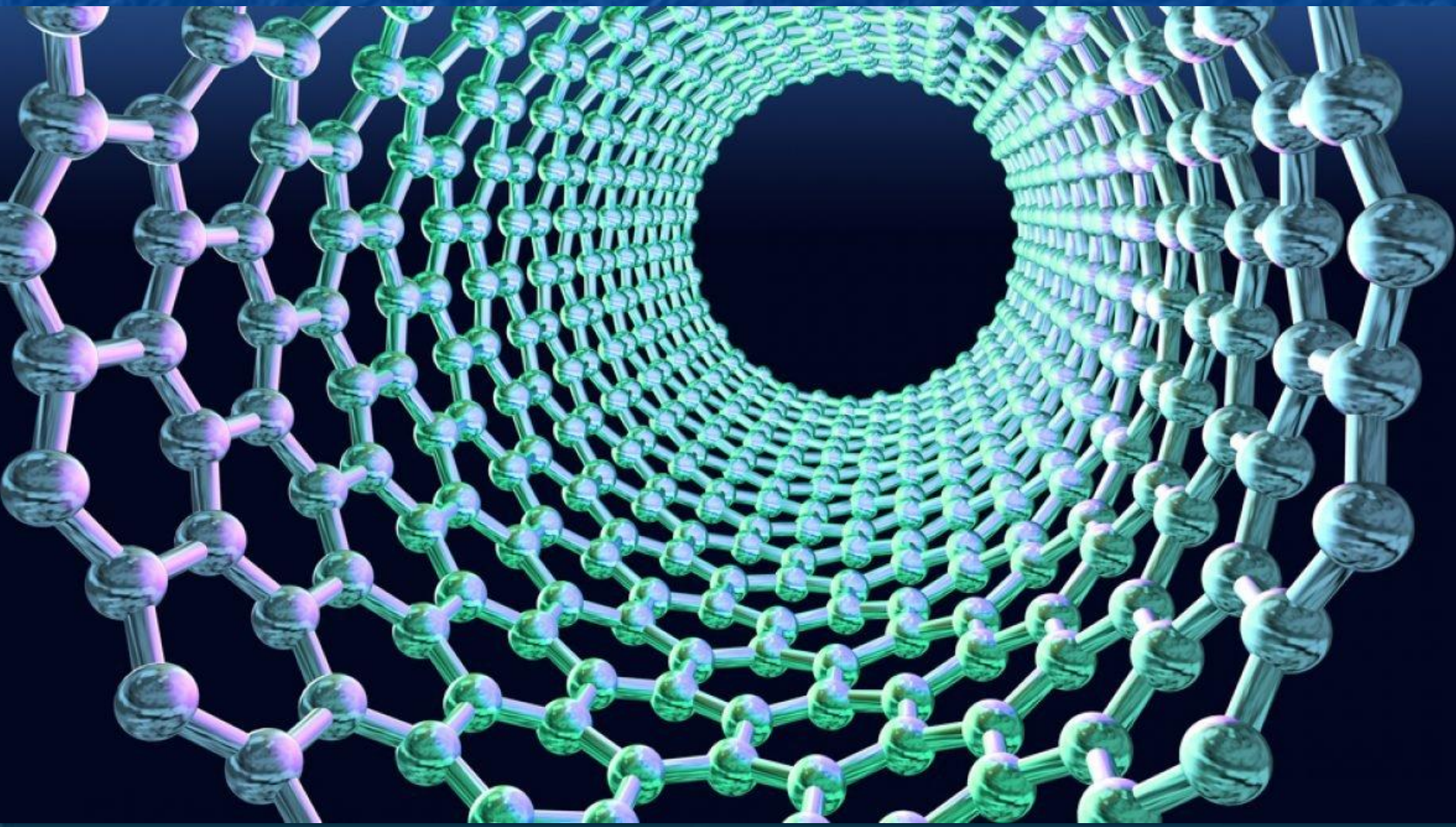
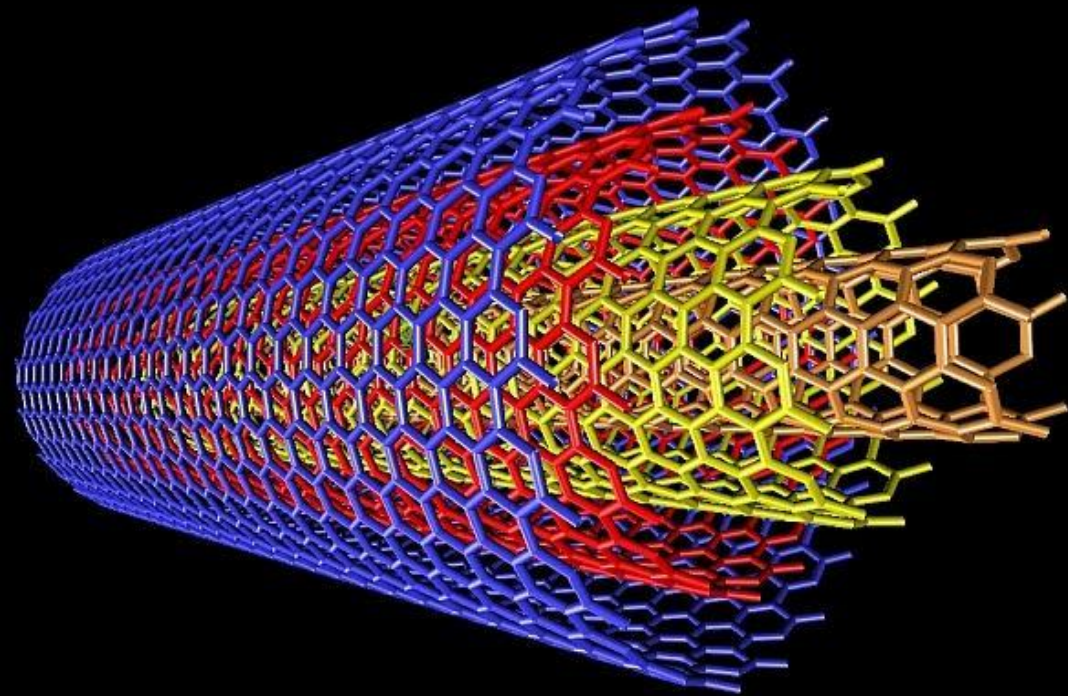


*Перспективные направления для применения  
углеродных нанотрубок современной  
промышленности строительных материалов*

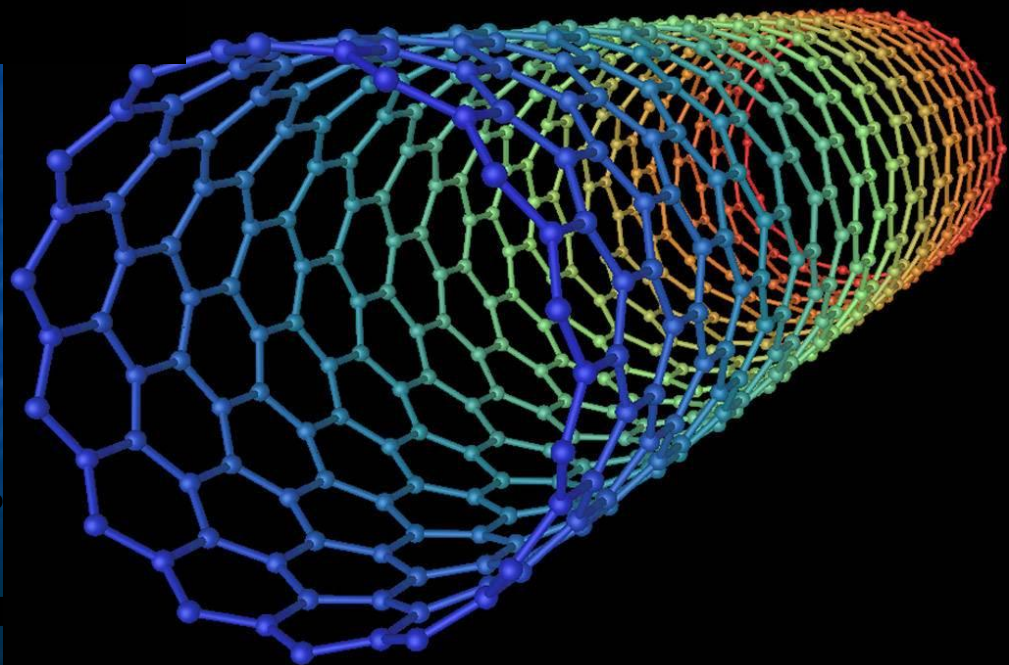






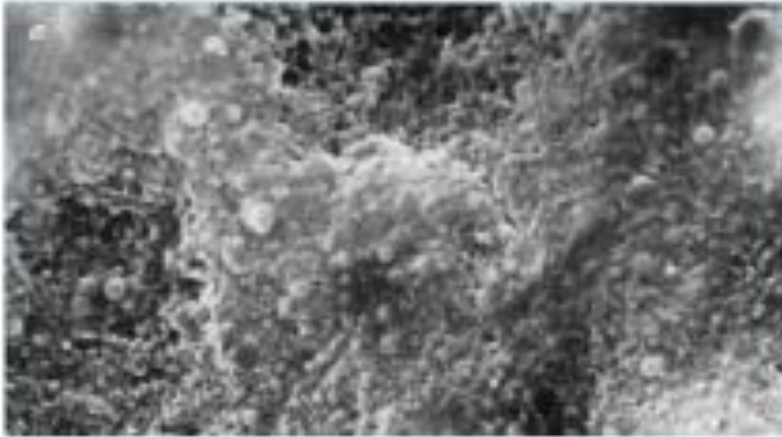
Диаметр однослойных трубок составляет от 0,4 до 4 нм, а многослойных – до 100 нм. В зависимости от используемого метода синтеза получают нанотрубки длиной до десятков и даже сотен микрометров.

1991 году, благодаря своим уникальным электрическим, механическим, термическим, оптическим свойствам являются объектом многочисленных исследований. Они представляют собой нанокристаллические углеродные кластеры, образованные свернутыми в трубку графеновыми слоями с открытыми или закрытыми концами.

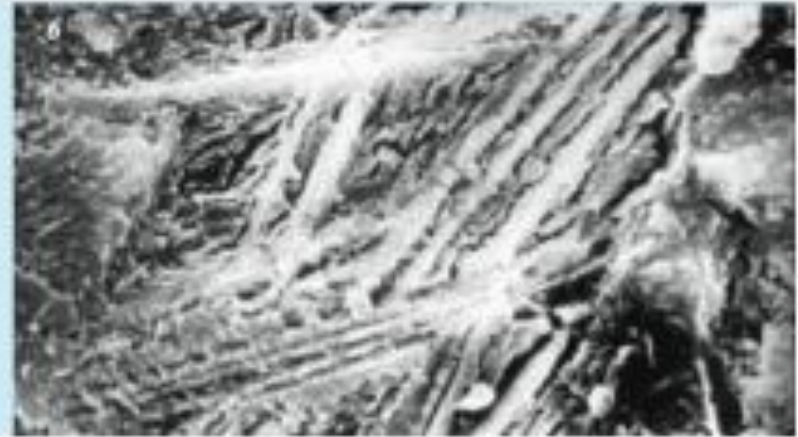


Исследователи уделяют много внимания взаимодействию бетона с углеродными нанотрубками.

Введенные в бетонную смесь, нанотрубки армируют цементный камень, превращая его в композиционный материал. С точки зрения здравого смысла, такой процент армирования (1-5%) кажется явно недостаточным, чтобы существенно повлиять на прочностные характеристики бетона.



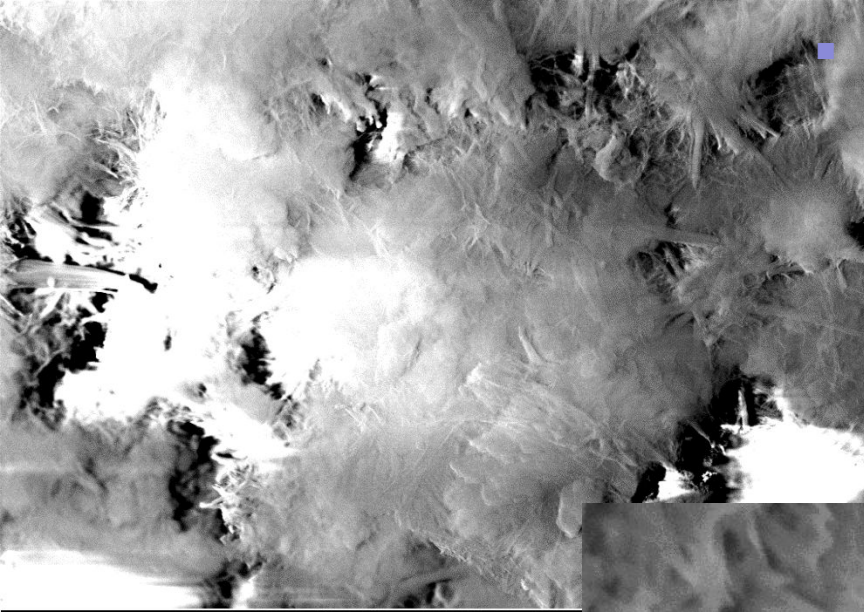
а



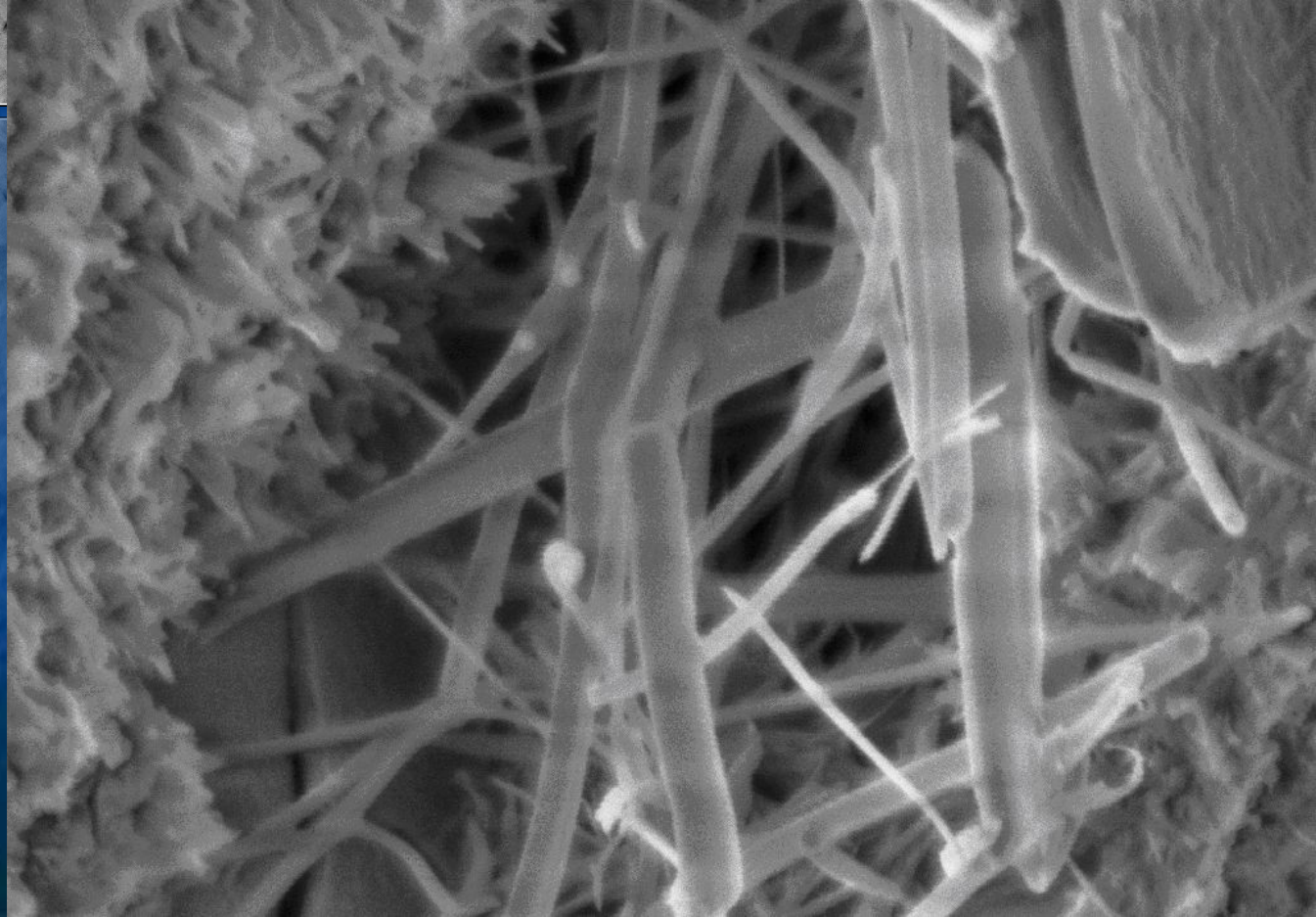
б

Тем не менее стойкий эффект присутствует, но возникает он не за счет непосредственного армирования, которое действительно ничтожно, а за счет направленного регулирования кристаллизационных процессов. Нанотрубки ведут себя в цементном растворе как «зародыши» кристаллов, но поскольку они имеют не точечную, а протяженную форму, кристаллы образуются вытянутые. Разрастаясь, кристаллы переплетаются, частично прорастают друг в друга и образуют пространственную сеть, пронизывающую и связывающую в единое целое весь цементный камень.





■ Наличие этих игольчатых наростов может свидетельствовать об увеличении прочностных характеристик материала, так как они выполняют армирующую роль в структуре бетона и дискретное наноструктурирование цементных систем.



Одним из способов повышения прочности бетонов считается модифицирование базальтовыми волокнами, однако, базальтовое волокно не обладает стойкостью к щелочной среде. В целях решения этой задачи была выдвинута гипотеза о целесообразности введения дисперсии углеродных нанотрубок в смесь. Дисперсия УНТ, действительно, оказала влияние на морфологию новообразований в областях контакта волокон с цементным камнем. Вокруг волокна образуются уплотненные структуры, предотвращающие выщелачивание.







На рисунке представлена фотография моста через Волгу в районе г. Кимры, реконструкция которого закончилась в ноябре 2007 года. Покрытие этого моста было выполнено из легкого конструкционного фибробетона на основе базальтовой микрофибры, модифицированной нанокластерами углерода.

Применение легкого фибробетона класса В30 с увеличенной прочностью на растяжение позволило снизить собственный вес покрытия более чем на треть.

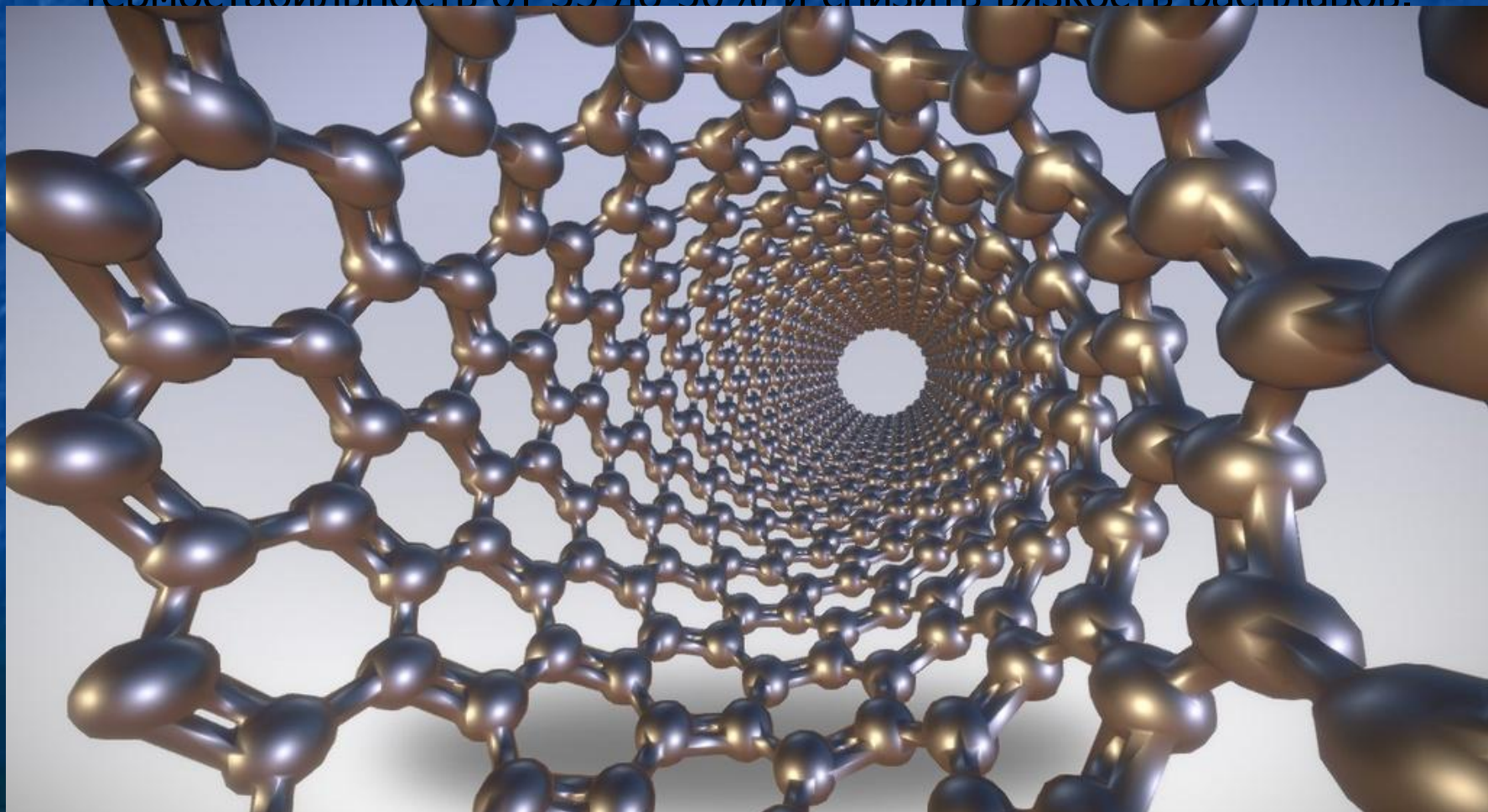
Это позволило перейти к планированию следующих объектов, одним из которых стал реконструируемый мост через реку Вятка. Мост принят в эксплуатацию в 2008 г.

На данный момент доказана экспериментально возможность повышения прочности деревокомпозитных балок с усилением приопорных участков олигомером на основе УНТ. Опорный участок клееной балки усиляется препрегом на основе стеклоткани и наномодифицированного графитовыми трубками клеевого состава, включающего эпоксидно-диановую смолу и отвердитель полиэтиленполиамин.





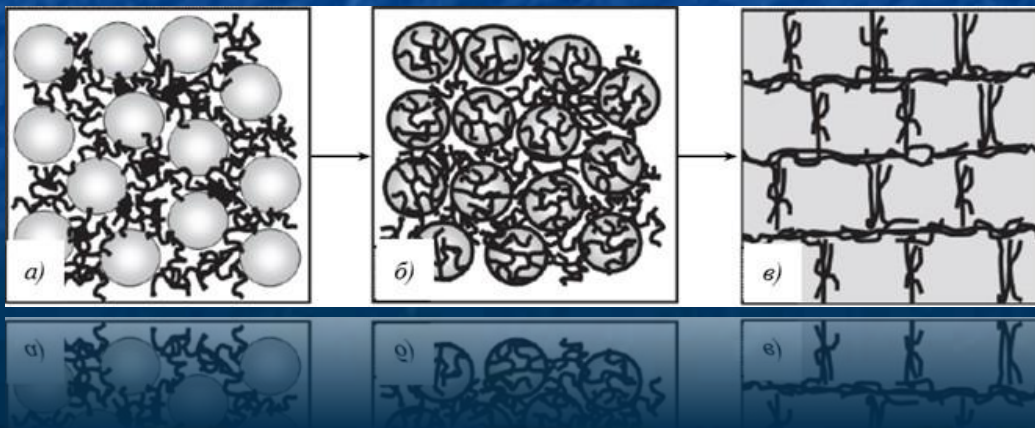
Отдельно следует выделить полимерные нанокомпозиционные материалы (ПНКМ), к их основным достоинствам можно отнести повышение эксплуатационных свойств: механической прочности, модуля упругости, тепло- и термо- стойкости, трещиностойкости. Уже разработаны технологические рекомендации по применению многослойных углеродных нанотрубок в рецептурах профильно-погонажных ПВХ-изделий строительного назначения, позволяющие повысить прочность от 12 до 25%, термостабильность от 35 до 50% и снизить вязкость расплавов.





■ Введение даже небольших количеств углеродных нанотрубок заметно меняет свойства полимеров, придает электропроводность, повышает теплопроводность, улучшает механические характеристики, химическую и термическую устойчивость. Созданы нанокompозиты на основе десятков различных полимеров, разработано много способов их получения.

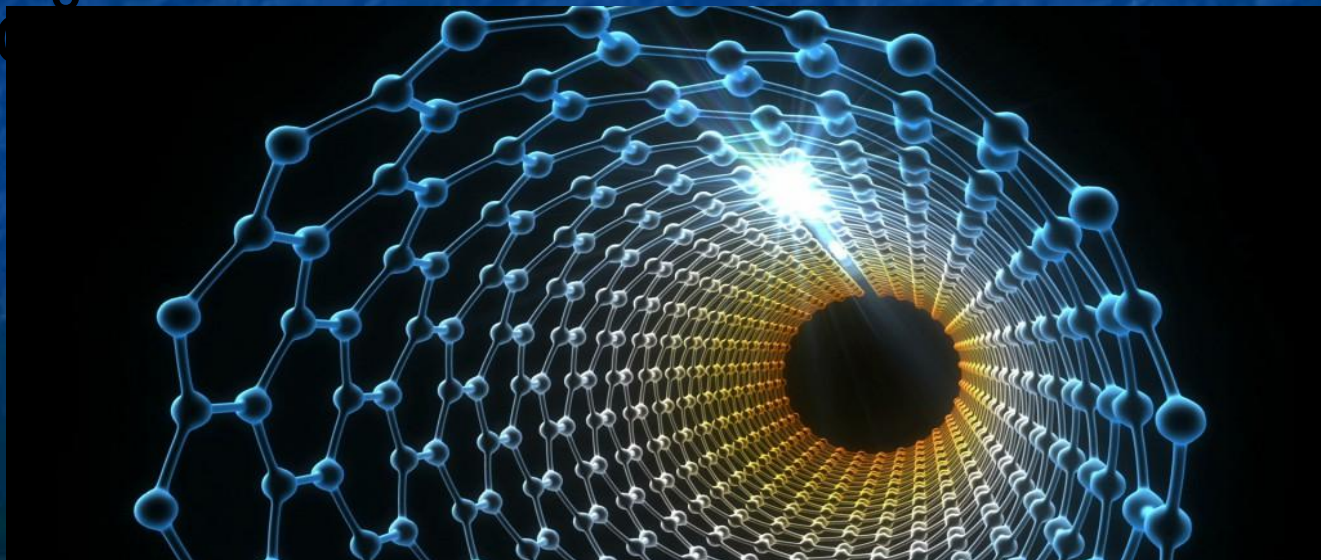
■ Широкое применение могут найти созданные на основе полимеров с нанотрубками композитные волокна.





Хрупкость керамики ограничивает использование этого материала в конструктивных целях, для того, чтобы преодолеть недостаток прочности последнее время в этой области активно исследуется возможность модифицирования УНТ.

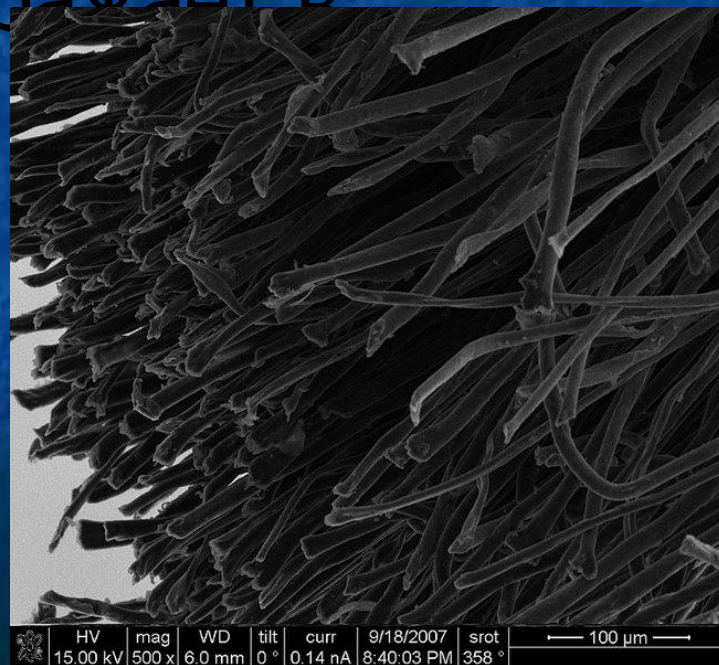
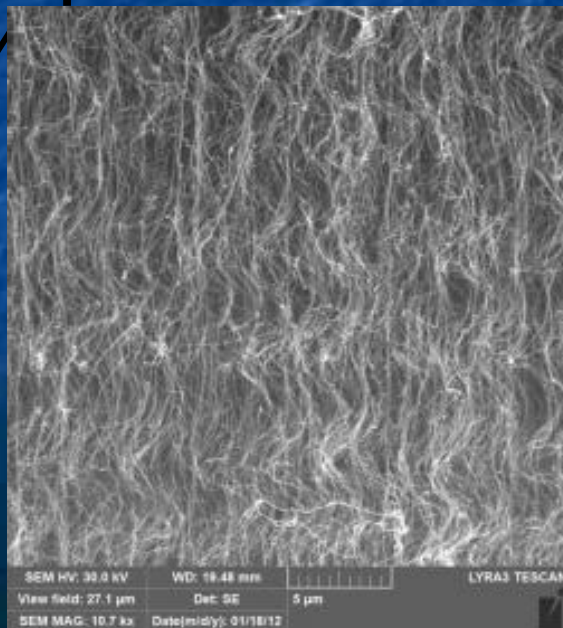
Механическая прочность керамических композитов, содержащих  $\text{SiO}_2$  и около 6 мас.% УНТ, примерно вдвое выше, чем у обычных





Керамический композит на основе  $Al_2O_3$  с 5–10% УНТ оказался в 5 раз более устойчивым к растрескиванию и в  $10^{13}$  раз более электропроводным, чем обычная керамика.

Поскольку УНТ были уложены параллельно друг другу, тепловые свойства композита оказались необычны: он проводит тепло в одном направлении и отражает в перпендикулярном.





Спасибо за внимание!

