НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
ЧАСТЬ 2

О.Л. Фиговский [1], А.З. Штейнбок [2]

[1] Академик, Израильская ассоциация изобретателей, Хайфа. Израиль, figovsky@gmail.com

[2] PhD, Израильская ассоциация изобретателей, Хайфа. Израиль; Колледж Шенкар, Рамат-Ган, Израиль, shteinbok.arkady@gmail.com

В России появится одно из самых высоких зданий мира, напечатанных на 3DP.

Рис. 18. В России, одно из самых высоких зданий мира, на 3D-принтере

В Татарстане планируют напечатать на 3D-принтере здание высотой 9,8 метра. Внутри разместится многофункциональный общественно-культурный центр, где будут проводить концерты, выставки и кинопоказы. Новый объект станет одним из самых высоких зданий, напечатанных на 3D-принтере, в мире.

Проект уже прошёл экспертизу и получил разрешение на строительство от управления государственной экспертизы и ценообразования по строительству и архитектуре Республики Татарстан.

Новое здание под названием “Мелля” построят в селе Мальбагуш Азнакаевского района.

Технология гибридного покрытия в строирельстве.

В индустрии покрытий с оборотом в несколько миллиардов долларов в последнее время наблюдается более пристальное внимание к полиуретану и его применению. Основное внимание уделялось безопасности работников со стороны OSHA, которое разработало новые стандарты и рекомендации для предприятий, использующих полиуретан. Обычно аппликатор украшает полный защитный костюм с покрытием с головы до ног из-за токсичности изоцианатов в полиуретановом веществе. Хотя существуют тысячи применений, таких как напыление пены на трубы и защитные

покрытия на автомобилях, наибольшую озабоченность вызывают покрытия для промышленных полов.

Эти промышленные напольные покрытия используются в складских помещениях, ангарах аэропортов, больницах, ресторанах, школах и других промышленных помещениях. При покрытии полов традиционным полиуретаном всегда существует риск чрезмерного воздействия токсичных веществ, называемых изоцианатами, содержащихся в покрытиях. Известно, что изоцианаты при тесном контакте вызывают астму, рвоту, раздражение грудной клетки, горла и носа, а в некоторых случаях даже смерть. Ни для кого не секрет, что во время катастрофы в Бхопале в Индии утечка изоцианатов с завода Union Carbide привела к гибели более 10 000 человек, и сегодняшнее применение обычного полиуретана не сильно изменилось.

Ответ на вопрос о нетоксичном полиуретане, конечно же, был изобретен Академиком О.Фиговским и назван “Зеленый полиуретан™”. Зеленый Полиуретан™ (также называемый “HNIPU” — гибридный неизоцианатный полиуретан) — это “гибридный” материал, который сочетает в себе высокую химическую стойкость эпоксидной смолы и улучшенные свойства долговечности и износостойкости полиуретана, что делает его идеальным применением для защита поверхностей с интенсивным движением и коррозией, особенно с повышенными требованиями безопасности и санитарных требований. Благодаря 100% содержанию твердых веществ и специальной рецептуре отверждения Green Polyurthan ™ можно наносить в один слой (в зависимости от основания), обеспечивая желанную экономичную замену используемым в настоящее время многослойным системам напольных покрытий. Green Polyurthan™ также является первым надежным решением проблемы опасностей для окружающей среды и здоровья, связанных с изоцианатами в полиуретане. Его функции безопасности с нулевым содержанием изоцианатов и летучими органическими соединениями позволяют применять его без остановки бизнеса из-за воздействия на публику, что обеспечивает экономию 30-60% затрат на применение для клиентов.

Пример оборудования: бетонные 3D-принтеры (“ICE CORAL”)

Мобильный принтер и все его аксессуары помещаются в один грузовик или в два 20-футовых транспортных контейнера.

Один из них можно было использовать как станцию очистки и сарай для технического обслуживания, а другой — как склад и гараж.

Рис. 19. Полный комплект оборудования для 3DP на одном грузовике.

Рис. 20. Бетононасос

Наш бетононасос оснащен кавитационным насосом для зерна размером до 8 мм. Наш бетононасос может работать как в ручном, так и в автоматическом режиме.

Рис. 21. Насосная станция присадок в процессе работы

Наша дозирующая насосная станция позаботится обо всех добавках, которые добавляются в нашу печатающую головку. Это неотъемлемая часть нашей системы.

Рис. 22. Шасси – подвижная база для насоса

Гусеничное шасси танка позволяет принтеру передвигаться по строительной площадке. Шасси может быть дизельным или электрическим.

Рис. 23. Пример модульного дома – элементы созданы с 3DP

Модульные дома, напечатанные на 3D-принтере, предлагают эффективное и доступное решение с высокой степенью гибкости дизайна, широким спектром вариантов планировки и возможностей индивидуальной настройки. Это позволяет домовладельцам создать дом, отвечающий их уникальным потребностям и предпочтениям.

Рис. 24. Процесс печати дома

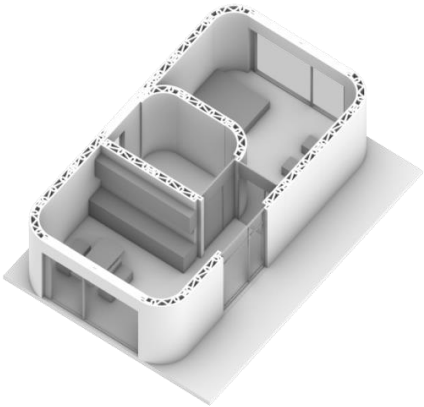


Рис. 25. Общий вид дома (60 m^2)

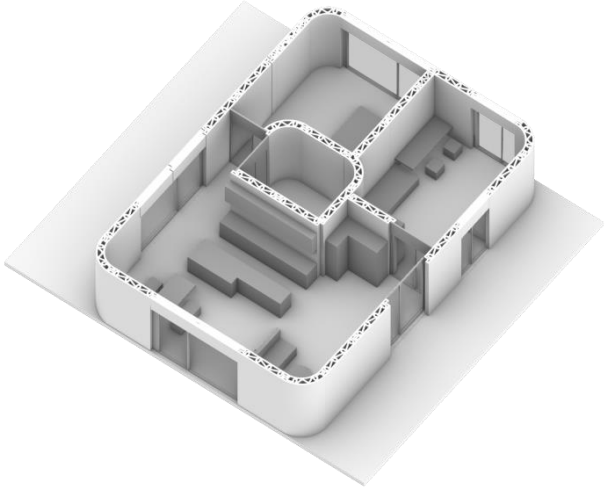


Рис. 26. Общий вид дома (95 m^2)

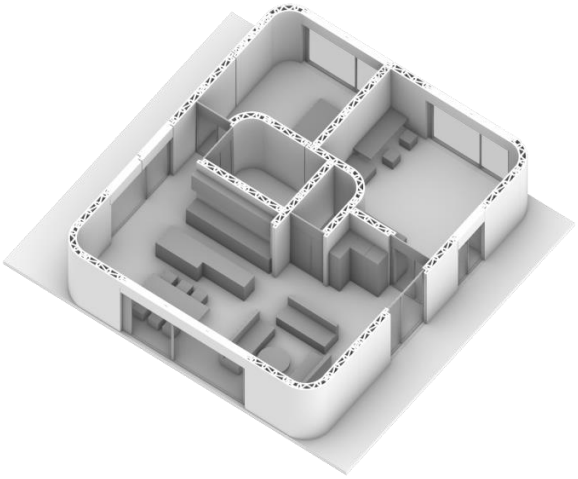


Рис. 27. Общий вид дома (120 m^2)

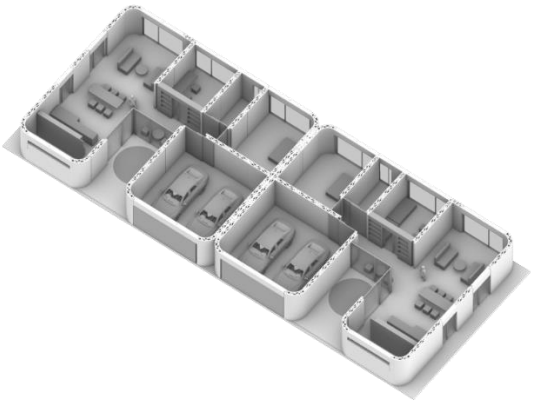


Рис. 28. Общий вид дома - Кластер

Рис. 29. Схема строительства перекрытий/крыши

3DP для создания Модульной системы защиты

Уникальная система защитных, боевых и предохранительных элементов, изготовленная по технологии 3D-печати бетоном.

Система MoDeSty предлагает универсальное решение для создания защитных барьеров, бункеров, контрольно-пропускных пунктов и домов для удовлетворения разнообразных потребностей в военных конфликтах, борьбе с терроризмом и защите от других угроз.

Эти модули, совместимые друг с другом, позволяют создавать сложные конструкции из простых элементов, одновременно выполняя множество функций.

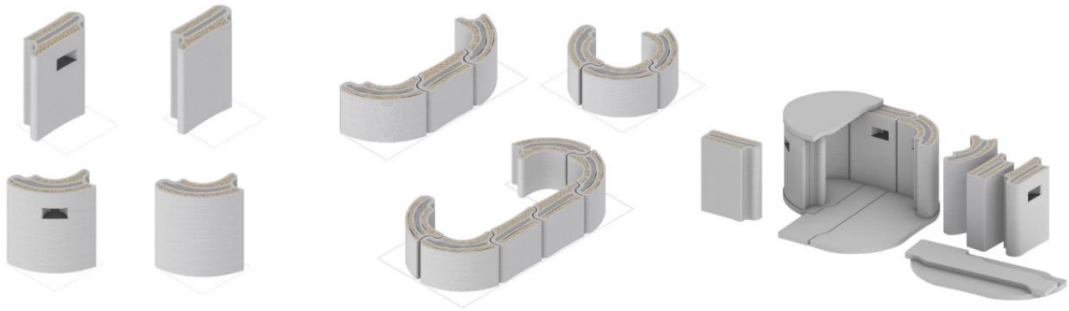


Рис. 30. Примеры элементов защиты

Возможность настройки отдельных деталей позволяет создавать конструкции различных классов стойкости с учетом конкретных требований безопасности и в соответствии с соглашением по стандартизации.

Таблица 2. Пример модулей зашиты созданных с 3DP

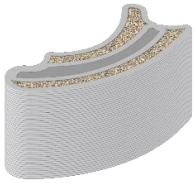
			
Классы сопротивления	**A3**	**A4**	**A5**
Диапазон высот	0,5–3 m	0,5–3 m	0,5–3 m
Ширина	1,3 m	1,3 m	1,85 m
Общая ширина стены	0,3 m	0,3 m	0,6 m
Объем 3D бетона	0,32 m3	0,32 m3	0,5 m^3
Объем наполнения	-	Песок 0,2 m^3	Гравий 4–8 мм 0,45 $м^3$ Железобетон 0,25 $м^3$
Время печати	20 мин	20 мин	30 мин
Транспортный вес	800 кг	800 кг	1700 кг

Рис. 31. Обший вид модулей защиты на поле

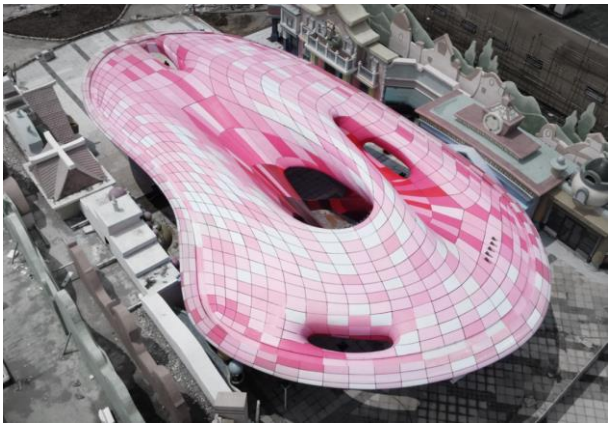
Дизайн с использованием цифровых технологий

Дизайн с использованием цифровых технологий: 3D-печать открывает новые возможности в Китае

Техасская компания Icon, которая занимается производством 3D-принтеров, показала новую модель Phoenix за работой. Она построила двухэтажный дом в городе Остин. Новый принтер легко настраивать и перемещать с места на место, он требует меньше операторов и быстро справляется с масштабными работами.

Его использование вдвое дешевле, чем у Vulcan, предыдущего поколения принтеров Icon. Phoenix состоит из большого свободно движущегося шарнирного рычага на вращающемся основании. Его создавали как более мобильный и автономный аппарат. Предыдущая модель, Vulcan, имела зафиксированные колонны и поперечины. При создании 3D-принтера с головкой, прикрепленной к концу поворотного рычага, труднее всего было обеспечить точность. Для строительства жилых помещений она необходима. Icon сумела разработать систему стабилизации, которая предотвращает раскачивание выталкивающего сопла на конце рычага. Она не только более мобильна, но и может печатать крупные многоэтажные здания.

По данным компании, Phoenix вдвое снижает затраты по сравнению с Vulcan. Использование системы будет стоить около $25 за квадратный фут (около 0,09 м²) для стеновых систем и $80 долларов за квадратный фут для фундамента и крыши. Это позволит сэкономить около $25 тысяч на строительстве типичного американского дома. Руководство Icon считает, что будущее строительства и проектирование принадлежит искусственному интеллекту. Поэтому она выпустила ИИ-систему Vitruvius, которая позволит быстро получить проект дома, который можно напечатать на 3D-принтере. Она поможет любому спроектировать дом и создать планы этажей, визуализацию интерьера и фасада за считанные минуты, исходя из собственных желаний и бюджета. Icon утверждает, что к концу года система Vitruvius сможет предоставлять полную строительную документацию и проекты, готовые к получению разрешений, а также бюджеты и графики строительства.



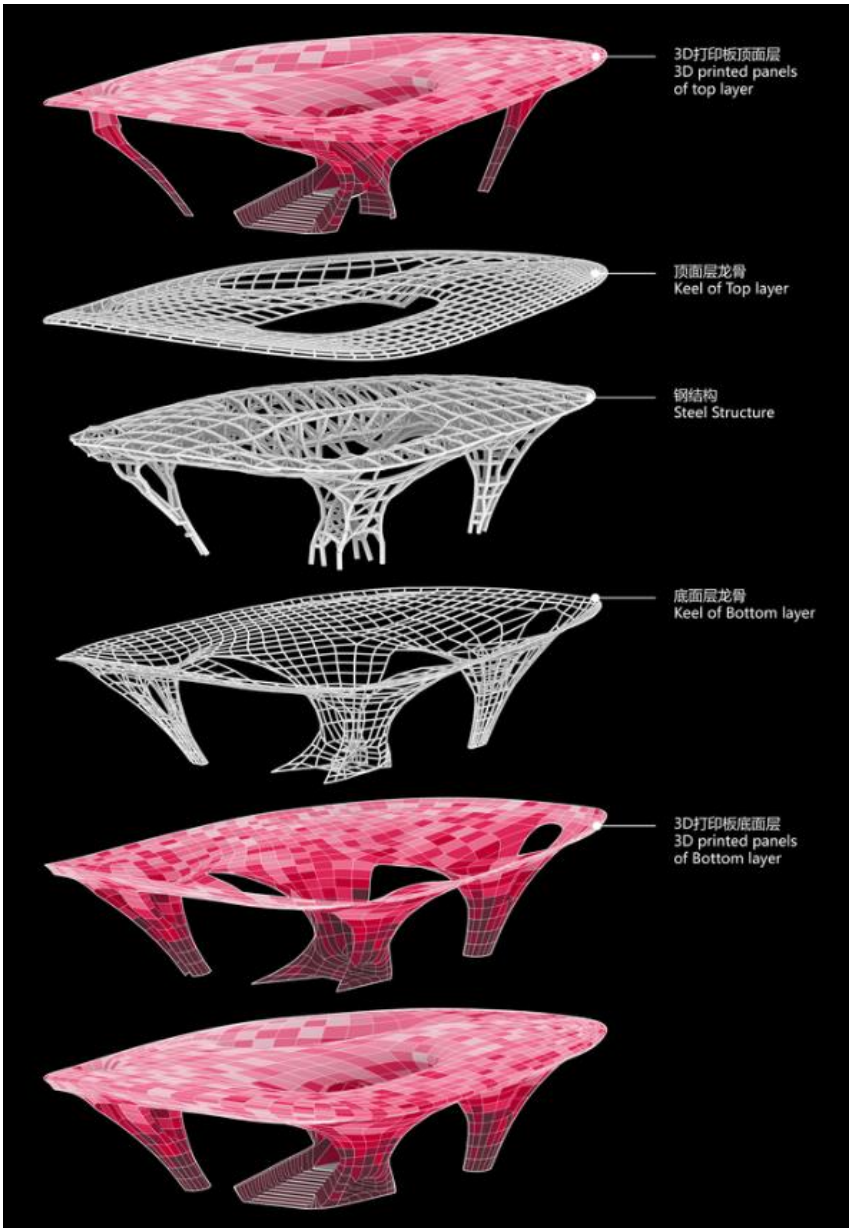


Рис. 32. Пример создания сложгого дизайна используя *3D-печать (Китай)*

Icon — американский лидер 3D-строительства с 2018 года, когда компания представила свой первый принтер. С тех пор Vulcan напечатал 130 домов в США и Мексике. Она планирует создать полностью напечатанный район в своём родном штате Техас. Кроме того, компания сотрудничает с NASA. Она создаёт прототипы базы для Марса и работает над 3D-инфраструктурой на Луне, включая посадочные площадки, дороги и жилые помещения. Их возведут в рамках проекта “Олимп”.

Американские материаловеды использовали 3D-принтер для печати деревянных конструкций из смеси целлюлозы и лигнина. После горячего прессования при 180 градусах по Цельсию брусок из такого материала оказался схожим с натуральной древесиной из бальзы по визуальным и механическим свойствам. В процессе обработки древесины для изготовления конструкций ненужные части обтачивают или вырезают для придания нужной формы, что приводит к образованию колоссального количества опилок. Опилки, хоть и находят применение при изготовлении древесно-стружечных плит, все еще являются нерациональной тратой древесины.

В современном мире 3D-печать коренным образом изменила подходы к изготовлению конструкций: с его помощью можно печатать разнообразные изделия от дамасской стали и перерабатываемого углеродного транзистора до ушной раковины и десерта из семи ингредиентов. Группа материаловедов под руководством Мухаммада Рахмана (Muhammad M. Rahman) из университета Райса и Ок-Риджской национальной лаборатории разработали состав для 3D-печати материала, по свойствам и составу похожим на древесину. В отличие от других работ, они решили отказаться от добавок и органических растворителей и использовать водный раствор лигнина из твердых пород дерева и смеси нановолокон и нанокристаллов целлюлозы.

Технологии 3D-печати помогают снизить расходы и время на производство, сокращают отходы. И в то же время многим материалам, которые используются в аддитивных технологиях, недостает прочности. Для решения этой проблемы специалисты из США разработали новый процесс печати: изделие из неметаллического материала получается прочнее и в пять раз быстрее, чем у традиционных 3D-принтеров. Принцип жидкой 3D-печати заключается в послойном отвердении жидкого фоточувствительного полиуретана под действием света. Чтобы перейти к печати следующего слоя, платформа с моделью поднимается, постепенно обретая заданную форму. Проблема в том, что застывающий, еще липкий полимер нужно перемещать очень аккуратно, что существенно замедляет процесс печати. Инженеры из Сандийской национальной лаборатории сравнили этот процесс с выпечкой.

“После того как вы испекли печенье, ему надо дать остыть. Если вы попытаетесь оторвать горячее печенье от противня, оно будет слишком мягким и сломается. То же происходит с 3D-принтером, если печатать слои быстро. Модель окажется кривой”, — пояснила Леа Эпплханс, участница проекта. Команда разработали инновационный метод охлаждения материала после печати при помощи двух источников света: синего и ультрафиолетового. На эту идею их натолкнули методы двухволновой печати с полимеризацией акрила и непрерывной жидкой печати (CLIP). Печать идет как обычно, слой за слоем, но второй источник света предотвращает полимеризацию на дне кюветы, чтобы модель не прилипала. Следовательно, деталь можно перемещать быстрее. Вместо акрила инженеры взяли дициклопентадиен, который применяется при производстве красок и огнетушителей. Для того чтобы он лучше полимеризировался, они изменили базовые компоненты материала с акриловых на олефиновые. Это позволило

повысить прочность моделей. Главная цель исследователей — расширить для инженеров и дизайнеров диапазон используемых полимеров, чтобы им проще было выбирать подходящий материал для своих проектов.

Компании PERI 3D Construction и KRAUSGRUPPE меньше, чем за шесть дней возвели центр обработки данных Wave House в Гейдельберге (Германия). Новое здание стало крупнейшим строением в Европе, напечатанным на 3D-принтере. Его площадь составляет 600 квадратных метров.

В немецком городе Люнене начинается строительство социального жилья с использованием 3D-печати. Проект предусматривает возведение трёхэтажных домов с двумя квартирами на каждом этаже площадью от 61 до 81 кв. м. Первые два этажа будут напечатаны на 3D-принтере COBOD BOD 2, а третий этаж будет надстроен из дерева. Процесс печати одного дома займёт около 100 часов. О масштабном проекте объявил производитель 3D-принтеров COBOD. Его реализует компания Peri 3D Construction, которая также знаменита строительством центра обработки данных для KRAUSGRUPPE. COBOD BOD 2 напечатает первые два этажа по чертежам за PERI 3D Construction и KRAUSGRUPPE 100 часов, послойно укладывая смесь, похожую на цемент, из роботизированного сопла. Ранее этот принтер создал сейсмостойкий дом за 26 часов.

Однако верхний этаж создадут и установят люди-строители. В экстерьере первых двух этажей останется оригинальная бетонная конструкция с характерным ребристым внешним видом стен, а деревянный этаж отделают фасадной обшивкой. Помимо деревянного пола и крыши, строители также установят окна, проводку, сантехнику и все остальное. Фабиан Мейер-Брётц, управляющий директор Peri 3D Construction, считает, что технология уже пригодна для широкого использования в строительстве. Он ожидает, что в ближайшие годы 3D-печать домов станет популярной в Германии.

Рис. 33. PERI печатает на 3D-принтере трехэтажный жилой дом в Германии

Цементная компания Progreso завершила строительство первого в Гватемале здания, напечатанного на 3D-принтере. Сам процесс занял всего 26 часов, но вместе с обустройством дома инженерными системами работа растянулась на неделю. Прототип дома был спроектирован так, чтобы противостоять местной сейсмической активности. Проект сочетает современные методы строительства с помощью 3D-печати и местные традиции, реализованные в соломенной крыше. Дом площадью 49 кв. метров был построен с использованием принтера COBOD BOD2, который также применялся при строительстве первого в Европе двухэтажного напечатанного дома. В данном случае 3D-принтер также пошагово создавал оболочку здания, экструдируя цементоподобную смесь по чертежу.

Процесс печати занял всего 26 часов, хотя растянулся на семь дней. Как только бетонный каркас был завершен, строители добавили окна, двери, проводку и сантехнику. Они установили крышу из пальмовой соломы, которая является традиционной в этом регионе. Были установлены деревянные рейки, которые также способствуют естественной вентиляции. Упор был сделан на то, чтобы конструкция выдерживала даже сильное землетрясение. 3D-печать позволила создать стены органической формы, которые иначе было намного дороже возвести из бетонных блоков, главного материала строительства в регионе. Крыша из пальмовых листьев используется столетиями в Латинской Америке, поскольку она недорогая, обеспечивает комфортную температуру и хорошо подходит для сейсмических регионов благодаря гибкому и легкому материалу.

Одноэтажный дом имеет простую внутреннюю планировку, в которой напечатанные из бетона стены остаются открытыми — без дополнительной отделки. В здании есть гостиная, небольшая кухня и спальня, которая может быть и кабинетом. Еще одно помещение — ванная комната с санузлом.

Библиография

1. Umaine 3D Printer, Maine Universyty, https://go.umaine.edu/
2. Нетоксичное полиуретановое промышленное напольное покрытие – https://hybridcoatingtech.com/polyurethane/non-toxic-polyurethane-floor-coating/ January 29, 2023
3. 3D-печать строительных элементов и зданий цементом BCT https://patents.google.com/patent/CN104891891A/en
4. 3D-печать и жилищное строительство: интеллектуальная собственность и строительное право — https://www.researchgate.net/publication/348205429_3D_Printing_and_Housing_Intellectual_Property_and_Construction_Law
5. https://www.ice.cz/en/construction-automation/mobile-3d-concrete-printer?utm_term=3%20d%20printing%20construction&utm_campaign=sea+3d+printing+en&utm_source=google&utm_medium=cpc&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwjqWzBhAqEiwAQmtgT4-6BqN7DqS_s3SOLWy_14X7fVgKpDu8tt8UFxy1MamRffgpyHWK0xoCWh4QAvD_BwE
6. PERI 3D Construction и KRAUSGRUPPE https://www.google.com/search?q=PERI+3D+Construction+%D0%B8+KRAU

SGRUPPE&sca_esv=0638464d073c0798&sca_upv=1&hl=en-IL&gbv=2&tbm=isch&sxsrf=ADLYWIIR1XXJguuIXgXf-9gfPWHaWloFTg:1722404821957&source=lnms&sa=X&ved=0ahUKEwiHzsn8ydCHAxW9BNsEHeVMBcgQ_AUIBigB&biw=1524&bih=770