



# ENGINEER

international scientific journal

**SPECIAL ISSUE**

**E-ISSN**

3030-3893

**ISSN**

3060-5172



SLIB.UZ  
Scientific library of Uzbekistan



A bridge between science and innovation



**TOSHKENT DAVLAT  
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state  
transport university



# **ENGINEER**

**A bridge between science and innovation**

**E-ISSN: 3030-3893**

**ISSN: 3060-5172**

**SPECIAL ISSUE**

**16-february, 2026**



[engineer.tstu.uz](http://engineer.tstu.uz)

**ABDURAXMON ASIMOVICH ISHANXODJAYEV TAVALLUDINING  
85 YILLIGIGA BAG‘ISHLANGAN  
“TRANSPORT INSHOOTLARI: ZAMONAVIY TEXNOLOGIYALAR,  
SEYSMIK BARQARORLIK”  
MAVZUSIDAGI XALQARO ILMIY-AMALIY KONFERENSIYASI  
ILMIY ISHLARI TO‘PLAMI**

Toshkent davlat transport universiteti texnika fanlari doktori, professor, transport qurilishi sohasida taniqli olim, fan va texnika sohasidagi Abu Rayhon Beruniy nomli O‘zbekiston Davlat mukofoti laureati, “Shuxrat belgisi” ordeni, “Sharafli mehnati uchun” medali, “Oliy talim fidoiysi”, Oliy talim alochisi”, “SSSR ixtirochisi”, “Yo‘l ustalarning ustozlari”, “Seysmik xavfsizlik sohasi alochisi” ko‘krak nishonlari sohibi **Abduraxmon Asimovich Ishanxodjayev tavalludining 85 yilligiga bag‘islangan “Transport inshootlari: zamonaviy texnologiyalar, seysmik barqarorlik”** mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya ilmiy ishlari to‘plami chop etildi.

Abduraxmon Asimovich 100 dan ortiq ilmiy asarlar, shu jumladan, 2 ta monografiya, 2 ta darslik, 18 ta chet elda chop etilgan ilmiy maqola va ishlab chiqarishga tadbiriq etilgan 6 ta ixtiroga berilgan guvohnoma va patentlar muallifidir. Uning ilmiy maslahatchiligi va ilmiy rahbarligida 2 ta doktorlik, 8 ta nomzodlik va 4 ta texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) ilmiy darajalariga dissertatsiyalar yoqlandi, ko‘p sonli ilmiy-tadqiqot mavzulari – fundamental va amaliy Ilmiy grantlar, yo‘l-ko‘prik qurilishi bo‘yicha Respublika va soha me‘yoriy hujjatlari yaratganlar.

Ishanxodjayev Abduraxmon Asimovich 1962 yilda Toshkent temir yo‘l muhandislari institutini “Sanoat va fuqaro qurilishi” mutaxassisligi bo‘yicha tugatib, bir yil O‘zbekiston suv xo‘jaligi Davlat loyiha instituti muhandisi, to‘rt yil “Toshshaxarqurilish Bosh Boshqarmasi” qurilish tashkilotlarida qurilish ustasi va ish bajaruvchi lavozimlarida ishladi. Shu davrda u hozirgi Respublika Prezidenti devoni binosi qurilishida ishtirok etdi, Toshkent viloyati Bo‘stonliq rayoni “Chimyon” dam olish zonasida tiklanayotgan “Quyoshli” pioner lager qurilishiga rahbarlik qildi. Nihoyat, u 5-yillik loyiha va ishlab chiqarish tajribasiga ega mutaxassis sifatida 1967-yil dekabrda O‘zbekiston Fanlar Akademiyasi mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutiga, ushbu institut direktori, o‘sha paytda fan nomzodi, keyinchalik akademik Tursunboy Rashidov ilmiy rahbarligida aspiranturaga kiradi va keyingi 20-yil davomida kichik va katta ilmiy hodim, laboratoriya mudiri lavozimlarida faoliyat ko‘rsatdi.

Shu davrda uning bevosita rahbarligi va ishtirokida O‘zbekiston Fanlar Akademiyasi mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutida dunyoda yagona “Metropolitanlar zilzilabardoshligi” laboratoriyasi tashkil etildi. Ushbu laboratoriya Toshkent metropoliteni Chilonzor metro yo‘lini noqulay grunt sharoitlari va yuqori seysmik zonada loyihalash va qurishda, metro qurilishi tajribasida birinchi bo‘lib yirik yig‘ma temirbeton elementlardan tiklanadigan yurish va bekat tonnellarining yangi, zilzilabardosh konstruksiyalari yaratish va tadbiriq etishda faol qatnashdi. Toshkent metrosi Chilonzor yo‘lining qurilgan bo‘laklarida ulkan eksperimental tadqiqotlar o‘tkazildi, metro tajribasida birinchi bo‘lib muhandis-seysmometrik kuzatuvlar tashkil qilindi. Laboratoriya ilmiy xodimlari va izlanuvchilaridan 10 dan ortiq kishi nomzodlik va doktorlik dissertatsiyalari yoqladilar. Kafedrada bajarilgan ilmiy-tadqiqotlar natijalarining ishlab chiqarishga tadbiriqidan hosil bo‘lgan katta miqdordagi iqtisodiy samara institut va O‘zbekiston Fanlar Akademiyasi hisobotlarida qayd etildi.



Ustozimiz 30 yildan ortiq muddatda rahbarlik qilgan Toshkent avtomobil-yo'llar instituti "Ko'priklar va transport tonnelli" kafedra O'zbekiston Respublikasi, shuningdek, Osiyo, Afrika va Lotin Amerikasi mamlakatlari uchun ko'priksizlik bo'yicha oliy malumotli kadrlar tayyorladilar. Shuni qayd etish lozimki, professor Ishanxodjaev Abduraxmon Asimovich turli yillarda Tojikiston va Qirg'iziston Respublikalari hududlarida, Armaniston Respublikasining Spitak shahrida ro'y bergan kuchli zilzilalar oqibatlarini o'rganish va tahlil qilishda, sobiq Ittifoq Fanlar Akademiyasi prezidiumi qoshidagi seysmologiya va zilzilabardosh qurilish bo'yicha idoralararo kengash azosi sifatida faol ishtirok etdi. Keyingi yillarda u Toshkent shahri va Respublikada qurilayotgan ulkan transport inshootlari konstruksiyalari, shu jumladan Toshkent metropoliteni yer usti xalqa yo'li konstruksiyalarini ekspertiza qilish jarayonlarida ham bevosita ishtirok etdi.

Ishanxodjayev Abduraxmon Asimovich 50 yildan ortiq davrda ilmiy darajalar beruvchi ixtisoslashgan va ilmiy kengashlarning raisi, ilmiy kotibi, a'zosi va ushbu kengashlar qoshidagi ilmiy seminar raisi sifatida 300 dan ortiq mutaxassislarning doktorlik, nomzodlik va falsafa doktori ilmiy darajasini olish jarayonida qatnashdi. Hozirda u Toshkent Davlat Transport Universiteti huzuridagi doktorlik dissertatsiyalari himoyasi bo'yicha ilmiy kengash a'zosi va ushbu ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, O'zbekiston mexaniklar jamiyatining kengashi a'zosi, Sharof Rashidov nomli Samarqand Davlat universiteti va O'zbekiston Fanlar Akademiyasi seysmologiya instituti qoshidagi doktorlik dissertatsiyalari himoyasi bo'yicha ilmiy kengashlar a'zosi sifatida ilmiy darajadagi mutaxassislar tayyorlashda faol ishtirok etmoqdalar.

Mazkur ilmiy-amaliy konferensiyaning maqsadi transport qurilishi sohasida olib borilayotgan zamonaviy ilmiy tadqiqotlar yo'nalishlarini muhokama qilish, jumladan ko'priklar va tunnellar qurilishi, metropolitenlar, yuqori seysmik hududlarda transport obyektlarining ishonchliligi va seysmik mustahkamligi, zamonaviy hisoblash va loyihalash usullari, hamda innovatsion muhandislik yechimlari bo'yicha ilmiy natijalar almashuvini ta'minlashdan iboratdir.

Konferensiyada O'zbekiston Respublikasi hamda xorijiy mamlakatlarning oliy o'quv yurtlari va ilmiy-tadqiqot institutlari olimlari, shuningdek, muhim ilmiy tadqiqot natijalariga ega bo'lgan ishlab chiqarish vakillari o'z ilmiy ishlari bilan ishtirok etdilar.

**"Transport inshootlari: zamonaviy texnologiyalar, seysmik barqarorlik"** mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiyaning asosiy yo'nalishlari quyidagilardan iborat:

1. Transport inshootlari uchun zamonaviy konstruktiv yechimlar va materiallar;
2. Ko'priklar hamda yo'l o'tkazgichlarni diagnostika qilish, ta'mirlash va mustahkamlash texnologiyalari;
3. Seysmik hududlarda transport inshootlarini loyihalash va ekspluatatsiya qilishdagi dolzarb masalalar;
4. Ilg'or xorijiy tajriba, innovatsion yondashuvlar va amaliy tavsiyalar.

Ushbu ilmiy-ma'rifiy to'plam Abduraxmon Asimovich Ishanxodjayevning tabarruk 85 yoshga to'lishi munosabati bilan nashr etilib, unda transport qurilishi sohasida faoliyat yuritayotgan yetakchi olimlar, professor-o'qituvchilar va malakali mutaxassislarning ilmiy izlanishlari jamlangan. To'plamda transport qurilishining dolzarb muammolari, zamonaviy muhandislik yechimlari, ilmiy-nazariy va amaliy tadqiqot natijalari yoritilib, ushbu sohaning bugungi holati va istiqboldagi rivojlanish yo'nalishlari aks ettirilgan. Mazkur nashr Abduraxmon Asimovichning transport qurilishi faniga qo'shgan ulkan hissasiga nisbatan chuqur hurmat va e'tirof ramzi sifatida tayyorlangan.



## Concrete for additive construction production in dry hot climate conditions for transport infrastructure

E. Shipacheva<sup>1</sup>, Z. Muradov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Uzbekistan

**Abstract:** The article examines the challenges and solutions for 3D concrete printing in arid, hot climates for transport infrastructure construction. It analyzes the detrimental effects of high temperatures, low humidity, and cyclic loading on the printing process and structural durability. Modern approaches to designing specialized concrete composites are presented, including mix designs with complex admixtures and reinforcement methods. The advantages of additive technologies for creating climate-adapted, functionally integrated, and cost-effective structures are highlighted.

**Keywords:** Additive Construction, 3D Concrete Printing, Arid Hot Climate, Transport Infrastructure, Printable Concrete

## Бетоны для аддитивного строительного производства в условиях сухого жаркого климата для транспортной инфраструктуры

Шипачева Е.В.<sup>1</sup>, Мурадов З.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>Джизакский политехнический институт, Джизак, Узбекистан

**Аннотация:** Рассмотрены проблемы и решения для 3D-печати бетоном в условиях сухого жаркого климата при строительстве транспортной инфраструктуры. Проанализировано разрушающее воздействие высоких температур, низкой влажности и циклических нагрузок на процесс печати и долговечность конструкций. Представлены современные подходы к созданию специальных бетонных композитов, включая рецептуры с комплексными добавками и методы армирования. Показаны преимущества аддитивных технологий для создания климатически-адаптированных, функционально-интегрированных и экономически эффективных сооружений.

**Ключевые слова:** Аддитивное строительное производство, 3D-печать бетоном, Сухой жаркий климат, Транспортная инфраструктура, Печатный бетон

### 1. Введение

Современная эпоха характеризуется двумя взаимоусиливающимися трендами: стремительной урбанизацией и освоением ранее малодоступных территорий, с одной стороны, и нарастающим и проявлениями глобального изменения климата – с другой. Эти процессы с особой остротой проявляются в регионах с сухим жарким климатом (Ближний Восток, Северная Африка, Центральная Азия, частично юго-запад США и Австралия), где масштабные инфраструктурные проекты, особенно в транспортной сфере, становятся локомотивами экономического развития. Однако традиционные методы капитального строительства здесь сталкиваются с системными ограничениями. Дефицит и высокая стоимость воды, экстремальные температурные нагрузки, приводящие к тепловым деформациям и ускоренной деградации материалов, сложности с логистикой и зависимость от массового импорта квалифицированной рабочей силы – все это существенно увеличивает сроки, стоимость и экологический след проектов [1].

В этом контексте аддитивное строительное производство (АСП, или 3D-печать бетоном) emerges не просто как инновационная технология, а как стратегическое решение, способное перезагрузить подходы к возведению объектов. Его потенциал – в беспрецедентной автоматизации, цифровизации процесса, радикальном сокращении отходов и возможности создавать сложные, оптимизированные формы, недоступные для традиционной опалубки. Для транспортной инфраструктуры, требующей множества типовых, но адаптируемых к местности элементов (опоры мостов, шумозащитные экраны, элементы развязок, павильоны), АСП открывает путь к массовой кастомизации и ускоренному развертыванию.

Большие проблемы внедрения АСП в транспортное строительство Республики Узбекистан обусловлены климатическими особенностями региона.

Так, каждый фактор среды действует комплексно, создавая агрессивную среду для аддитивного процесса:

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0000-0489-445X>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6761-6753>



1. Гипертермия и радиационный нагрев: Температура окружающего воздуха в  $+45...+50^{\circ}\text{C}$  приводит к нагреву компонентов смеси (цемента, заполнителей) уже на стадии хранения и дозирования. Солнечная радиация дополнительно и неравномерно нагревает поверхность только что отпечатанного элемента, вызывая градиенты температур до  $20-30^{\circ}\text{C}$  по сечению слоя. Это провоцирует термические напряжения, ведущие к деформациям и расслоению.

2. Кинетика влагообмена: Относительная влажность воздуха ниже 30% вызывает мгновенное испарение воды с поверхности экструдированной нити. Это не только останавливает гидратацию в поверхностном слое, но и создает капиллярные силы, вытягивающие влагу из глубины. Результат – пластическая усадка, сетка микротрещин, критическое снижение межслойной адгезии (ключевого параметра для АСП) и пониженная долговечность.

3. Циклические нагрузки: Суточный перепад температур в  $25-30^{\circ}\text{C}$  создает эффект «дыхания» конструкции. Для транспортных сооружений (мостов, эстакад) это накладывается на динамические и вибрационные нагрузки от транспорта, ускоряя усталостное разрушение.

4. Абразивно-коррозионная среда: Переносимые ветром частицы песка действуют как абразив, а солевые туманы или высолы в прибрежных пустынях инициируют коррозию стальной арматуры (если она используется) и деградацию цементного камня.

Однако фундаментальным «узким местом» для реализации этого потенциала в условиях аридного климата является материал-носитель технологии – бетонная смесь для печати. Стандартные составы, разработанные для умеренного климата, в условиях гипертермии, низкой влажности и интенсивной солнечной радиации ведут себя непредсказуемо: происходит катастрофически быстрое испарение воды, нарушающее кинетику гидратации и межслойную адгезию; возникают критические градиенты температур и пластические усадки, ведущие к трещинообразованию; ускоряется схватывание, дестабилизирующее процесс экструзии. Таким образом, актуальность темы заключается в необходимости фундаментального переосмысления реологии, состава и поведения бетона на всех этапах – от приготовления до длительной эксплуатации в экстремальных условиях. Это задача на стыке материаловедения, химии, строительной физики и робототехники, решение которой определит возможность перехода от экспериментальных демонстраторов к масштабному промышленному применению АСП в стратегически важных регионах планеты [2].

## 2. Методология исследования

В сложившихся реалиях строительства транспортных сооружений целесообразно рассматривать бетон для АСП не как смесь, а как конструкционный композит с программируемыми свойствами на всех стадиях: от экструзии до долговечной эксплуатации. В связи с этим, основными моментами будут являться подбор состава бетона и методы армирования.

1. Тщательный подбор и подготовка компонентов:

Вязущие системы: Используются композиты на основе портландцемента с оптимизированным минералогическим составом (C3A, C3S). Активно

внедряются альтернативные низкоуглеродистые вязущие: щелочно-активированные шлаки (AAS) или золы (geopolymers). Они не только обладают значительно меньшим тепловыделением, но и демонстрируют повышенную стойкость к сульфатам и хлоридам, характерным для засушливых регионов.

Заполнители: Вместо стандартных применяются фракционированные заполнители с повышенной плотностью упаковки для снижения потребности в воде. Исследуется использование местных материалов, таких как термообработанные пустынные пески (для улучшения зернового состава) или дробленый базальт, повышающий итоговую абразивную стойкость.

Модифицирующие добавки (ключевой элемент):

Суперпластификаторы нового поколения (PCE с контролируемой адсорбцией): Позволяют достичь консистенции, идеальной для экструзии, при низком водоцементном отношении ( $V/C < 0.30$ ), что напрямую повышает прочность и снижает усадку.

Водоудерживающие добавки (ВУД): На основе эфиров целлюлозы или синтетических полимеров. Они создают в пористой структуре гелевую матрицу, физически связывая воду и замедляя ее миграцию к поверхности испарения на критически важные первые 60-90 минут после печати.

Стабилизаторы реологии (загустители): Обеспечивают структурную вязкость (тиксотропию), предотвращая расплывание нижних слоев под весом верхних. Часто используются в синергии с PCE.

Пенообразователи и воздухововлекающие добавки (контролируемые): Введение микропор (3-5% объема) целенаправленно снижает плотность и теплопроводность материала, а также создает резервные пустоты для компенсации термического расширения.

Ускорители/замедлители схватывания с «умной» активацией: Многофункциональные добавки, которые могут замедлять схватывание в смесительном узле и шланге, но ускорять его сразу после экструзии под действием температуры или УФ-излучения.

2. Стратегии армирования для аддитивных конструкций:

Дискретное (фибровое) армирование: Как упомянуто, базальтовые, полипропиленовые, а также стальные волокна длиной 6-12 мм. Современный тренд – гибридное армирование (сочетание волокон разной длины и модуля упругости) для одновременного подавления микро- и макротрещин.

Непрерывное армирование: Прорывное направление – одновременная совместная печать бетона и непрерывной нити из полимерных композитов (базальтопластик, стеклопластик, углепластик). Робот укладывает бетон и арматуру в едином технологическом цикле, создавая предварительно напряженные, анизотропные конструкции с высокой прочностью на растяжение и изгиб, что идеально для пролетных строений мостов и консолей.

Армирование встроенными элементами: В процессе печати в тело бетона автоматически устанавливаются анкерные гильзы, закладные детали, каналы для последующего натяжения или монтажа перил и ограждений [3].

## 3. Результаты исследования

Геометрическая свобода АСП позволяет переосмыслить сами принципы проектирования инфраструктуры для жаркого климата.



Таблица 1

## Сравнение свойств бетонных смесей для 3D-печати в условиях сухого жаркого климата

Состав смеси	В/Ц	Прочность на сжатие (28 суток), МПа	Межслойная адгезия, МПа	Усадка при высыхании, %	Время сохранения пластичности, мин
Стандартный состав (без добавок)	0,45	35,2	0,8	0,15	40
С ПВХ и ВУД	0,35	52,6	2,1	0,08	75
С фиброй (базальт 1%)	0,38	48,5	2,5	0,06	60
С геополимерным вяжущим	0,30	58,0	2,3	0,05	90

Примечание: ПВХ — поликарбоксилатный пластификатор, ВУД — водоудерживающая добавка.

1. Пассивная климатическая адаптация конструкций (биомиметика):

Конструкции с минимальным поперечным сечением: Печать ажурных, решетчатых (латообразных) структур для опор, подпорных стенок, козырьков. Это уменьшает массу, нагрев и ветровую нагрузку.

Элементы с развитой поверхностью теплообмена: Внешние ребра, выступы, каналы по аналогии с ребрами кактуса или ушами фенека. Они увеличивают поверхность охлаждения и создают самообразующуюся тень на части конструкции.

Интегрированные системы пассивного охлаждения: Печать полых элементов с вертикальными вентиляционными каналами, работающими по принципу солнечной трубы (термосифона). Нагретый воздух поднимается вверх, создавая тягу и втягивая более холодный воздух снизу.

2. Функционально-интегрированные транспортные сооружения:

«Умные» мостовые опоры и пролеты: В процессе печати закладываются не просто каналы, а целые сетки волоконно-оптических датчиков (Distributed Fiber Optic Sensing). Они позволяют в режиме реального времени контролировать деформации, температуру по сечению, зарождение и раскрытие трещин по всей длине элемента.

Аддитивные элементы дорожного полотна: Печать не несущих, но функциональных элементов — шумопоглощающих барьеров с открытой пористой структурой, ветрозащитных экранов сложной аэродинамической формы, водосборных и дренажных лотков с интегрированными каналами.

Быстровозводимые модульные конструкции для логистики: Печать на месте модульных блоков для складов временного хранения, гаражей для спецтехники, укрытий для дорожных служб. Форма блоков может предусматривать пазы для быстрой сборки без раствора, по принципу Lego.

3. Мобильные и автономные производственные платформы:

Развитие идет в сторону создания мобильных автономных заводов-принтеров (Mobile On-Site Printing Factory) на базе тяжелых грузовиков или гусеничных шасси. Такая платформа включает:

Силовую установку (часто гибридную, дизель-солнечную).

Бункеры-силосы для сухих компонентов с системой пневмоподачи.

Модуль приготовления и охлаждения смеси (с чиллером).

Роботизированный манипулятор с изменяемой геометрией зоны печати.

Подобные комплексы могут перемещаться вдоль трассы, последовательно печатая элементы инфраструктуры.

#### Экономические и экологические перспективы.

Внедрение специализированных бетонов для АСП в сухом климате, несмотря на высокую начальную стоимость материалов и оборудования, дает значимые преимущества:

Снижение логистических затрат: До 70% материалов (песок, заполнитель) можно закупать локально. Печать на месте исключает транспортировку крупногабаритных ЖБИ.

Экономия воды: За счет низкого В/Ц и водоудерживающих добавок потребление воды снижается на 30-50% по сравнению с монолитным строительством.

Энергоэффективность жизненного цикла: Оптимизированные по массе и теплотехническим свойствам конструкции требуют меньше энергии для будущей эксплуатации (например, охлаждения тоннелей).

Сокращение сроков: Скорость возведения увеличивается в 2-3 раза, что критически важно для инфраструктурных проектов.

#### Будущие направления исследований и развития.

1. 4D-печать с памятью формы: Материалы, которые могут менять геометрию (например, открывать/закрывать жалюзи) под воздействием температуры.

2. Фото- и термokatалитические бетоны: Для самоочистки поверхностей от пыли и разложения органических загрязнений под действием солнца.

3. Полностью рециклируемые смеси: Разработка бетонов, которые после демонтажа конструкции могут быть размолоты и использованы в качестве заполнителя для новой печати.

4. Искусственный интеллект в управлении процессом: Системы компьютерного зрения и машинного обучения для онлайн-мониторинга качества экструзии, автоматической коррекции параметров печати в ответ на изменение ветра и температуры.



## 4. Заключение

Развитие специализированных бетонов для аддитивного строительства в условиях сухого жаркого климата представляет собой не просто техническую задачу, а комплексную междисциплинарную проблему, успешное решение которой знаменует переход к новой парадигме в строительстве транспортной инфраструктуры. Как показывает анализ, современные материалы эволюционируют от простых смесей к высокофункциональным инженерным композитам с программируемыми свойствами. Ключом к успеху является синергия низкотеплотворных вяжущих систем, локальных заполнителей, многоуровневого армирования (от микрофибры до непрерывных композитных нитей) и «умных» химических добавок, которые совместно обеспечивают стабильную экструзию, формоустойчивость и долговечность в агрессивной среде.

Однако революционный потенциал технологии раскрывается только при интеграции этих материалов с передовыми цифровыми и конструктивными подходами. Свобода геометрического моделирования позволяет создавать бионические, топологически оптимизированные структуры, которые не только несут нагрузку, но и активно противостоят климатическим воздействиям – самоохлаждаются, минимизируют нагрев, эффективно отводят воду и пыль. Внедрение систем мониторинга на этапе печати (компьютерное зрение) и в процессе эксплуатации (распределенные волоконно-оптические датчики) превращает инфраструктуру в «живой», чувствительный организм, способный информировать о своем состоянии в реальном времени.

Таким образом, будущее строительства транспортных объектов в экстремальных климатических зонах лежит в конвергенции трех направлений:

Интеллектуальные материалы: самовосстанавливающиеся, с фазовым переходом, фотокаталитические и полностью рециклируемые бетоны.

Автономные роботизированные системы: мобильные платформы, способные работать в автономном режиме, адаптируясь к изменению условий на стройплощадке [4].

Цифровые двойники на протяжении всего жизненного цикла: от оптимизации проекта в silico до прогнозной аналитики эксплуатации на основе данных с датчиков.

Страны и корпорации, которые смогут освоить и интегрировать эту триаду, получат не просто новую строительную технологию, а мощный инструмент геэкономического влияния. Они смогут быстро и эффективно развертывать критически важную инфраструктуру в самых сложных регионах мира, обеспечивая устойчивое развитие, снижая ресурсоемкость и формируя новые стандарты безопасности и долговечности. Аддитивное строительство из сферы экспериментальных фасадов и малых архитектурных форм окончательно переходит в область ответственного инженерного строительства, открывая новую главу в создании адаптивной и резилиентной среды обитания человечества.

## Использованная литература / References

- [1] Latest Technologies in Construction. 3D Printer 2016 / Baryshnikov Alexander Anatolyevich, Mustafin Nail Shamilyevich
- [2] Innovative Construction of Buildings and Structures Using a 3D Printer 2018 / Leonova Anna Nikolaevna, Meged Tatyana Konstantinovna, Sogonova Margarita Yuryevna
- [3] Progressive Construction Technology of Printing Houses on 3D Printers 2020 / Gridina Darya Vladimirovna
- [4] Modern Three-Dimensional Printers for Additive Construction Production 2019 / Trebukhin A. F., Parri D. E.
- [5] Muradov Z. M. Investigation of Concrete Strength Considering Nonlinear Deformation Using Modern Electronic Means //Academy. – 2020. – No. 12 (63). – Pp. 108-110.
- [6] Karakulov Kh. M. et al. Technological Methods for Improving the Durability of Concretes in the Dry Hot Climate of Uzbekistan on the Example of Jizzakh Region //BST: Bulletin of Construction Equipment. – 2020. – No. 8. – Pp. 24-26.
- [7] Muradov Z. M. On Calculating Concrete Strength Considering Nonlinear Deformation Based on Fracture Mechanics //Science and Education. – 2022. – Vol. 3. – No. 2. – Pp. 367-374.
- [8] Additive Technology: Description, Definition, Application Features and Reviews. Additive Technologies in Industry [Electronic Resource]. Access Mode: <https://fb.ru/article/231049/additivnaya-tehnologiya-opisanie-opredelenie-osobnosti-primeneniya-i-otziviviy-additivnyie-tehnologii-v-promyshlennosti>.
- [9] Review Article on 3D Construction Technologies [Electronic Resource]. Access Mode: <https://habr.com/ru/post/224299/>.
- [10] Ivanova, E. A. Methodology for Research of Materials for Construction 3D Printing / E. A. Ivanova // Prospects for the Development of Additive Technologies in the Republic of Belarus. Minsk: Belarus. Nauka, 2021. Pp. 15–26.
- [11] Concrete Mixes. Test Methods: STB 1545–2005. Introduced 01.07.2005. Minsk: Minstroiarhitektury, 2005. 24 p.
- [12] Concretes. Methods for Determining Strength by Control Specimens: GOST 10180–2012. Introduced 01.07.2013. Moscow: Standartinform, 2018. 36 p.
- [13] Zafarov O., Gulomov D., Murodov Z. Conducting Engineering-Geological Researches on Bridges Located in Our Country and Diagnosing Their Superstructures, Methods of Eliminating Identified Defects //Problems in the Textile and Light Industry in the Context of Integration of Science and Industry and Ways to Solve Them:(Ptlicisiws - 2022). – 2023. – Vol. 2789. – No. 1. – P. 040079.
- [14] Ganiev I. G. et al. Global Issue of Ageing Reinforced Concrete Bridge Infrastructure //Technical Science Integrated Research. – 2025. – Vol. 1. – No. 3. – Pp. 3-9.
- [15] Ganiev I. G. et al. Failure Mechanisms of Reinforced Concrete Bridges //Technical Science Integrated Research. – 2025. – Vol. 1. – No. 3. – Pp. 10-14.



**Информация об авторах/  
Information about the authors****Щипачева Елена  
Владимировна**

Ташкентский государственный  
транспортный университет, Доктор  
технических наук, профессор,  
Email: [eshipacheva@mail.ru](mailto:eshipacheva@mail.ru)  
<https://orcid.org/0009-0000-0489-445X>

**Мурадов  
Зухриддин  
Мухитдин угли**

Джизакский политехнический  
институт  
Email: [zuxriddinmuradov@gmail.com](mailto:zuxriddinmuradov@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-6761-6753>



**K. Sultanov**

*Parameters of underground metro structure interaction with soil under seismic loads and methods for their determination* .....8

**B. Mardonov, N. Nishonov, M. Berdibaev, A. Khurramov, R. Azamov**

*Vibrations of a rigid beam elastically connected to deformable supports under seismic loads* .....13

**A. Belyi, Sh. Kadirova, M. Mamadaliev**

*Experience in Implementation and Prospects for the Development of Structural Health Monitoring Systems at Transport and Civil Infrastructure Facilities* .....20

**U. Shermukhamedov, Sh. Mirkhodjaev, A. Karimova, A. Abdullaev**

*On the issue of assessing a monolithic reinforced concrete overpass under seismic impacts* .....24

**I. Mirzaev, S.M. Gaynazarov**

*Mutual influence of parallel tunnels in an elastic medium in the epicentral zone of an earthquake* .....31

**Sh. Erboev, D. Juraeva**

*Modern building materials based on household waste and natural raw materials* .....37

**Kh. Akramov, R. Ametov**

*Physicochemical analysis of expanded clay concrete modified with mineral and chemical additives* .....39

**Z. Rakhimjonov, A. Khurramov**

*Application of new seismically insulated supporting parts for seismic protection of bridge intermediate buildings* .....44

**E. Shipacheva, Z. Muradov**

*Concrete for Additive Construction Production in Dry Hot Climate Conditions for Transport Infrastructure* .....49

**I. Mirzaev, U. Shermukhamedov, A. Karimova, A. Abdullaev**

*Seismic Performance of Continuous Monolithic Bridges* .....54

**A. Khasanov, Z. Khasanov, B. Kurbanov, B. Toshmukumov**

*Use of basalt reinforcement, mesh, and fabrics as structural materials in geotechnical and earthworks* .....59