

ветствует плотности коррозионного тока реальной макропары с соотношением площадей анода и катода соответственно 3,9:16,5 в 3 %-ном растворе NaCl.

В начальной стадии развития коррозии арматуры в бетоне коррозионный процесс микрогальванических элементов будет также тормозиться омическим сопротивлением, несмотря на существенное сокращение расстояния между анодными и катодными участками. Следует учесть, что на микроуровне разность потенциалов максимально не превышает 10 мВ [5], следовательно, при переходе на микроуровень понижением (R) сопровождается сильным снижением ЭДС микрокоррозионных элементов. Начальная стадия развития коррозии протекает чрезвычайно замедленно и только после образования зазора между металлом и бетоном заполненного продуктами окисления влияние омического фактора должно снижаться.

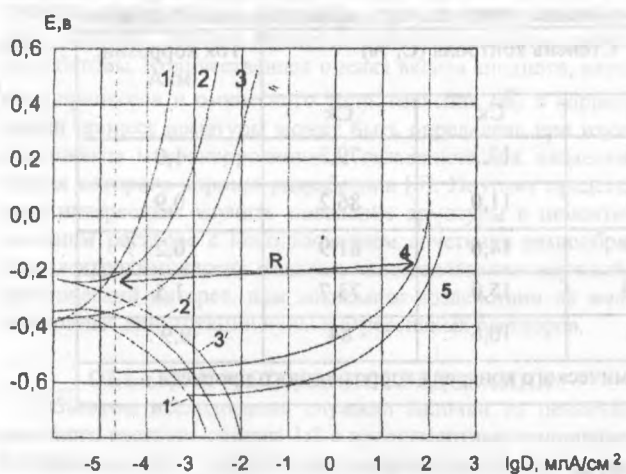


Рисунок 2 - Анодные (1-5) и катодные (1'-3') поляризационные кривые: 1, 1' - водной вытяжке цементного камня с pH=12,55; 2, 2' - для балочки с арматурой длиной 1 см в 3 % растворе NaCl, 3, 3' - для балочки с арматурой длиной 1 см в 15 % растворе NaCl, 4 - в непосредственном контакте арматуры с 3 % раствором NaCl, 5 - в непосредственном контакте арматуры с 5 % раствором NaCl.

Полученные экспериментальные результаты указывают на то, что развитие коррозии арматуры в бетоне определяется в значительной мере омическим фактором, обусловленным диффузией ионов к анодным и катодным зонам, наряду с затрудненностью подвода кислорода к катодным участкам.

УДК 624.012.41+691:620.18-19

Драган В.И., Строк М.Н.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ НАКОПЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ И ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ МИКРОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

В ходе эксплуатации зданий и сооружений на конструкции действует сложный спектр нагрузок и воздействий. Изменчивость их во времени приводит к непрерывному накоплению и росту дефектов, повреждению конструкций, что сокращает сроки службы этих конструкций и требует проведе-

ния мероприятий по их ремонту и усилению. Анализ закономерностей образования и развития микро- и макротрещин позволит определить остаточные сроки эксплуатации и рассчитать долговечность бетонных и железобетонных конструкций.

Возможно развитие коррозии за счет образования макрокоррозионных пар дифференциальной аэрации при локальном воздействии воды и сильных электролитов.

ВЫВОДЫ

Экспериментальные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- материалы на цементной основе характеризуются высокими сопротивлениями, величина которых определяется насыщенностью водой и концентрацией электролитов;
- значения стационарных потенциалов зависят от омического сопротивления, чем выше сопротивление, тем положительной величина потенциала;
- показана возможность функционирования макрокоррозионных пар дифференциальной аэрации, эффективность работы которых определяется омическим сопротивлением;
- количественное влияние катодной и анодной стадий на скорость коррозионного процесса невелико и составляет 20-25 %;
- метод гальваностатической поляризации не позволяет количественно оценить вклад в коррозионный процесс арматуры в бетоне омической составляющей;
- развитие коррозии арматуры идет значительно медленнее, чем в обычных электролитных средах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980.
2. Bicrok J. Cement corrosion and concrete protection. Budapest. 1964.
3. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. М.: Стройиздат, 1990.
4. Москвин В.М. Коррозия бетона. М.: Госстройиздат, 1952.
5. Томашов Н.Д. Теория коррозии и защита металлов. М.: Изд. АН СССР, 1959.
6. Шаталов А.Я., Маршаков И.К. Практикум по физической химии. М.: Высшая школа, 1975.

Драган Вячеслав Игнатьевич. Профессор, кандидат технических наук, проректор по научной работе, зав. каф. строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Строк Михаил Николаевич. Аспирант каф. строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Правильная оценка долговечности бетонных и железобетонных конструкций по уровню накопленных в них дефектов является трудоёмкой и непростой для реализации задачей. Она требует специального испытательного оборудования, симических реактивов, разработки сложных методик для обнаружения дефектов и повреждений, большого объёма экспериментальных наблюдений и измерений.

Для оценки структуры бетона в настоящее время используют следующие методы: ртутная порометрия, рентгенография, фотоупругий метод, термомодефектоскопия, акустический (ультразвуковой) метод, метод с использованием водопоглощения. Эти методы подробно рассмотрены в работе [1]. Каждый из перечисленных методов имеет как преимущества, так и недостатки - для некоторых из них необходимо специальное оборудование, другие не дают полной картины повреждённой структуры.

Наиболее достоверно картину состояния структуры бетона с находящимися в ней повреждениями позволяет получить микроскопия.

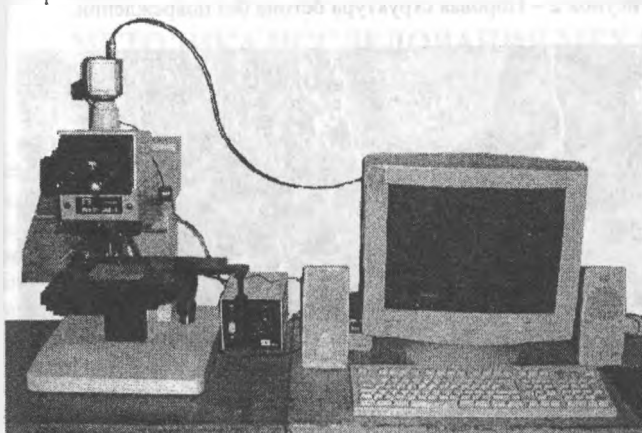


Рисунок 1 – Фотография микроскопа МКИ-2М-1.

На основе микроскопии разработана методика по выявлению накопленных дефектов и повреждений с помощью микроструктурного анализа. Микроструктурный анализ бетона выполнялся на микроскопе МКИ-2М-1. На микроскопе присутствует ряд приспособлений для получения качественного изображения изучаемой поверхности. Микроскоп оборудован системой светофильтров для получения изображения в красных, синих или зеленых тонах. Это обеспечивает благоприятную работу в изучении материалов, у которых преобладает один из перечисленных цветов. Микроскоп оснащён двумя режимами наблюдения: светлое поле в отраженном свете и темное поле в отраженном свете, что позволяет получить негативное изображение. Для удобства работы предусмотрено плавное движение смотрового столика, благодаря которому обеспечивается перемещение шлифа в различных направлениях по горизонтальной плоскости. Перемещая столик в вертикальной плоскости, регулируется резкость изображения. Регулировка освещённости поверхности шлифа выполняется изменением яркости лампы и фокусированием луча света от сосредоточенного пучка до рассеянного по всему полю визирования.

На микроскопе установлен барабан с пятью объективами различной кратности. При совокупном суммировании разрешающих способностей объектива и окуляра можно получить увеличение от 60 до 1000 крат. Каждый объектив имеет порядковый номер. Объектив №1 имеет самое малое увеличение – 60 крат. При установке объектива № 2 увеличение составляет 125 крат, при объективах № 3, 4, 5 - соответственно 250, 500, 1000 крат. При использовании объектива № 1 поле визирования составляет 2x2 мм. С использованием объектива № 2 поле визирования уменьшается вдвое и составляет 1x1 мм.

Аналогично, с использованием последующих объективов поле визирования вдвое меньше предыдущего. Для анализа структуры бетона наиболее характерно использование объективов № 2 и № 3. Размера получаемого изображения достаточно, чтобы дать характеристику капиллярно-пористой структуре бетона с равномерно распределёнными по всему объёму микродефектами, образовавшимися в ходе испытаний. Размеры микродефектов сопоставимы с размерами капилляров. Капилляры и поры являются концентраторами для образования микротрещин. Размеры капилляров составляют $r < 0.1$ мкм, макрокапилляров - $0.1 \text{ мкм} < r < (1-10)$ мкм, а у некапиллярных пор - $r > 10$ мкм (более 0.01 мм), что во много раз меньше размера поля визирования при этих объективах.

Для облегчения работы с получением фотографий изображения на микроскопе установлена цифровая видеокамера, с помощью которой изображение сразу транслируется на экран монитора. Совместную работу видеокамеры с компьютером обеспечивает программа ASUS Live. С помощью ASUS Live производилась настройка получаемого видеозображения, которое могло быть либо цветное, либо черно-белое, и изменение размеров видеокнока - это изображение как с определенными размерами, так и с произвольными. Также благодаря ASUS Live производилось фотографирование изображения в память компьютера, после чего полученную фотографию дополнительно корректировали в графическом редакторе COREL DRAW. Это и изменение размеров фотографии для помещения ее в текстовый редактор, и выделение наиболее интересующего нас участка, и нанесение масштабной шкалы. Для получения более полной картины поверхности шлифа производилось последовательное фотографирование поверхности, после чего эти фотографии стыковали в графическом редакторе. Использование видеокамеры позволило увеличить изображение до 1500 крат, при этом масштаб определялся размером фотографии.

Изготовление шлифов согласно [2,3] выполнялось путём вырезания алмазной пилой из бетонных образцов небольших пластин. В качестве охлаждающей жидкости для алмазной пилы использовалась смесь равных объемов дезодорированного керосина и веретенного масла. Остатки этой жидкости легко смывались с поверхности бетона водой. Удаление из трещин бетонной пыли, образующейся в процессе распиловки, производилось струей воды под большим напором. Для прямого микроскопического наблюдения за картиной микроповреждений поверхность пластины полировалась абразивными материалами, постепенно переходя от более грубого абразива к наиболее тонкому. Обработка выполнялась мокрым способом, добиваясь получения полированной поверхности. Удаление образовавшейся пасты опять же производилось с помощью струи воды под большим напором и с использованием щетки с мягким ворсом, после чего поверхность просушивалась.

Для выявления микродефектов на поверхности шлифа при микроскопическом наблюдении использовалось несколько методов. Каждый из методов имеет свойства выявлять дефекты с определенными размерами. Поэтому условно дефекты классифицировались для предлагаемых методов по размерам, т.е. дефекты с шириной раскрытия 0,1-1 мкм, 1-10 мкм, 10-100 мкм и более, более 500 мкм. Общей характеристикой принятых методов являлось то, что для выявления дефектов использовались окрашивающие жидкости, способные проникать в глубь микротрещины и проявляться благодаря своему контрастному цвету по отношению к общей поверхности шлифа.

В качестве наиболее чувствительного метода применялся люминесцентный метод, способный наиболее полно выявить дефекты с размерами начиная с 0,1 мкм. Непосредственно люминесцентный метод предназначен для капиллярного неразрушающего контроля в плотной структуре, такой как ме-

талл, и подробно описан в [4]. Для использования этого метода в пористых материалах, таких как бетон, требуется буферная жидкость [5], способная в значительной степени закрыть только поры, не заполняя трещины. В ходе исследований использовался дефектоскопический набор ЛЮМ1-ОВ, в состав которого входил пенетрант, очиститель и проявитель. После нанесения буферной жидкости поверхность шлифа покрывалась индикаторной жидкостью – пенетрантом, который представляет собой суспензию люминофора. Заполнение полостей трещин пенетрантом выполнялось распылением его с помощью сжатого воздуха. Спустя некоторое время (5-8 минут) производилась чистка поверхности шлифа от пенетранта с помощью ветоши, пропитанной очистителем. После очистки поверхности от пенетранта наносился проявитель. В качестве проявителя использовался материал, предназначенный для извлечения пенетранта из капиллярной полости микротрещин с целью образования четкого индикаторного рисунка и создания контрастного с ним фона. Роль проявителя заключалась, с одной стороны, в том, чтобы проявитель создавал микропористую структуру на поверхности шлифа, в которую извлекается пенетрант из трещин за счет капиллярных сил. С другой стороны, в том, чтобы по цвету пенетранта проявитель создавал контрастный рисунок на поверхности для обнаружения индикаторных следов дефектов. При проявлении извлеченный из углублений люминофор давал на темном фоне светящиеся под действием ультрафиолетовых лучей следы, что позволяло выявить микротрещины раскрытием около 0.1 мкм. В связи высокой чувствительности метода вся поверхность шлифа была слегка осветлена. Это связано с тем, что чувствительность метода сопоставима с размером капилляров и люминофор частично проникал в капилляры и проявлялся. Но при этом наиболее четко светились места, где располагались микротрещины.

При применении цветного метода в качестве индикаторного пенетранта использовалась ярко окрашенная жидкость, а дефекты выявлялись по индикаторным следам и имели ярко-красный цвет на белом фоне. Для цветного метода использовалось естественное освещение или лампы накаливания. Чувствительность цветного метода способна выявить дефекты раскрытием более 1 мкм. Как и при люминесцентном методе, шлиф покрывали буферной жидкостью. Заполнение дефектов пенетрантом производилось также распылением при помощи сжатого воздуха. После очистки наносился проявитель. Для цветного метода использовался набор ЛЮМ4-В.

Описанные методы в связи с очень высокой чувствительностью не способны четко охарактеризовать поврежденность структуры по всей поверхности шлифа, а именно на фоне проявившихся капилляров затруднено описание дефектов в структуре цементного камня, так как контуры следа проявившихся дефектов являются нечеткими. Это связано с тем, что проявляемый пенетрант поднимался из углублений и насыщал весь проявитель, находившийся вблизи дефекта, и происходило слияние контуров дефектов с общим проявившимся фоном капилляров и близко расположенных микротрещин, что затрудняло измерение обнаруженных повреждений. Также предлагаемые методы не позволяли охарактеризовать расположение дефектов (в цементном камне или в контактной зоне), т.к. вся поверхность покрывалась белым проявителем.

Для обнаружения дефектов в структуре бетона нами предложено использование густого красителя, в состав которого входят ярко-желтые пигменты с размером частиц около 0.1 мкм. Применение красителя заключается в легком втирании его в поверхность шлифа сухой ветошью с последующим удалением излишков.

Ярко-желтым красителем является ванадат висмута (BiVO_3) – пигментная препаарация, состоящая из пигмента с

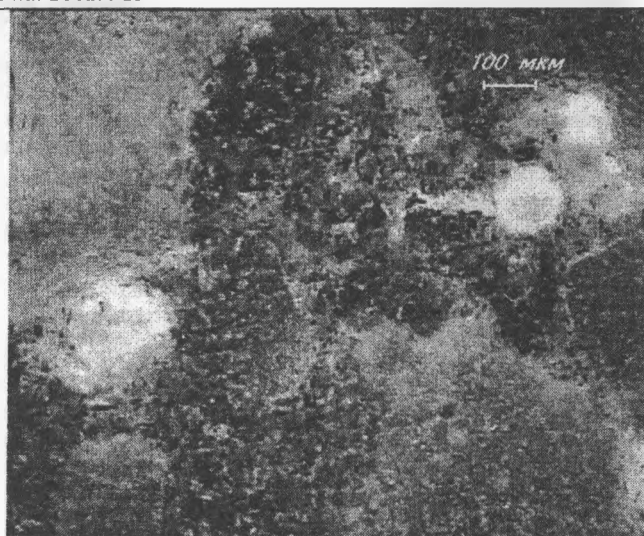


Рисунок 2 – Поровая структура бетона без повреждений.

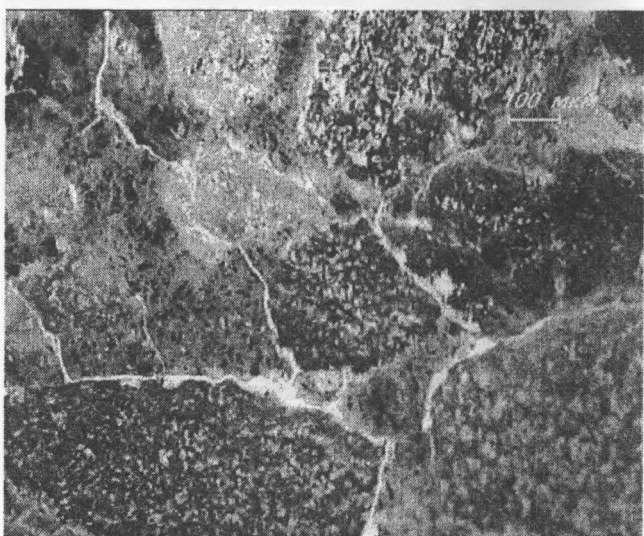


Рисунок 3 – Микротрещины на бетонном шлифе, проявленные при помощи густого красителя.

размером частиц ~0.1 мкм (массовая доля 50%), пропилен гликоля, вода.

Благодаря относительно крупным размерам пигмента краситель не проникал в капиллярную структуру цементного камня, а густо заполнял крупные несплошности (поры и микротрещины) размером более 10 мкм.

На рисунке 2 представлена фотография с применением густого красителя, на котором четко просматриваются очертания шаровидных пор. Применение густого красителя позволяет достоверно выявить микроповреждения структуры – на фотографии (рис. 3) видно не только разрушение контактной зоны между цементным камнем и заполнителем (щебнем), но и наличие разветвленных микротрещин в самом цементном камне.

Дефекты размером свыше 500 мкм (0.5 мм) легко обнаруживаются без дополнительного проявления.

На основе применяемых методов выполнялась количественная оценка, которая осуществлялась по плотности дефектов – отношению суммарной длины микротрещин на определенном участке к общей площади этого участка. Для приведенной на рис. 3 поверхности шлифа было получено, что плотность дефектов составляет $\rho=331 \text{ мм/мм}^2$.

ВЫВОДЫ

1. Из большого числа методов для изучения поврежденности структуры бетона выделен микроскопический метод, который позволяет обнаруживать микротрещины на разных этапах их образования, начиная с 0,1 мкм.
2. Разработана методика выявления микродефектов в структуре поврежденного бетона, включающая подготовку шлифов, подбор проявляющих веществ и исследование структуры под микроскопом. Для количественной оценки дефектной структуры предложено использовать отношение суммарной длины микротрещин на определенном участке к общей площади этого участка.

УДК 624.012.4:620.17.

Драган В.И., Загуляев С.В.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРЫВНОЙ МАШИНЫ ИР 5145-500-10

Одним из путей решения неотложных задач в области строительства являются дальнейшее повышение надежности и долговечности строительных конструкций зданий и сооружений. В связи с этим наиболее точное определение физико-механических свойств является неперенным условием для прогнозирования поведения строительных конструкций под нагрузкой. Из большого числа испытательных установок, наиболее полно отвечающих данным требованиям, нами использовалась разрывная машина ИР 5145-500-10 Ивановского ОАО "Точприбор".

Испытательная нагрузка при растяжении-сжатии данной машины составляет от 0 до 500 кН, при этом номинальная цена единицы наименьшего разряда при индикации нагрузки 0.01 кН, а предел допускаемой погрешности машины при измерении нагрузки в режиме растяжения +/-1%, сжатия +/-2%. Значение скорости перемещения активного захвата находится в пределах от 0.05 до 200 мм/мин.

Программное и техническое обеспечение позволяет проводить испытание следующих видов образцов: цилиндрических, плоских, целой трубы, сегмента трубы. При окончании испытания обеспечивается получение следующей информации: наибольшей нагрузки, достигнутой при испытании; значения перемещения активного захвата с учетом упругой и пластической деформации, соответствующего наибольшей нагрузке; нагрузки разрушения образца; временного сопротивления, истинного сопротивления разрыву; относительного удлинения начальной расчетной длины; относительного сужения площади поперечного образца после разрыва.

Принцип работы машины основан на принудительном деформировании образца при одновременном измерении нагрузки, прикладываемом к образцу, и соответствующей ей величины его деформации.

Функционально можно выделить следующие системы, обеспечивающие заданный режим работы машины: систему деформирования образца, систему электропривода (согласующий трансформатор, блок управления, сглаживающий реактор), систему автоматики (выключатель питающей сети, выключатель аварийного отключения, блок конечных выключателей, узел защиты), систему измерения силы (измеритель силы, пульт оператора ПО-3), систему измерения перемещения активного захвата испытательной установки (датчик,

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шейкин А.Н., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. - М.: Стройиздат, 1979. - 344 с.
2. ГОСТ 22023-76. материалы строительные. Метод микроскопического количественного анализа структуры. -10 с.
3. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей: Учеб. Пособие для строит. вузов. - М.: Высш. шк., 1991. -288 с.
4. Капиллярный неразрушающий контроль: контроль проникающими веществами./ Прохоренко П.П., Мигун Н.П., Стойчева И.В., Секерин А.М. - Мн: ИПФ, 1998. -160 с.
5. Дежунов Н.В., Прохоренко П.П., Стойчева И.В. Метод подавления фонового свечения при контроле изделий из пористых материалов.// Дефектоскопия. -1989.- №10. -С. 62-67.

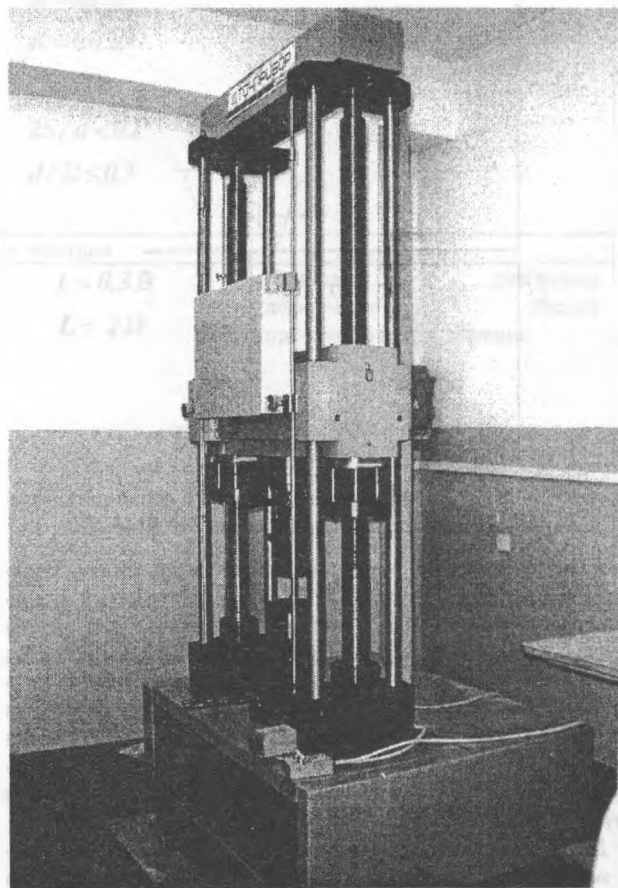


Рисунок 1 – Внешний вид разрывной машины ИР5145-500-10.

расположенный в неподвижной траверсе), систему измерения параметров испытания (пульт оператора ПО-3, программное обеспечение). Машина ИР 5145-500-10 работает в режимах растяжения, сжатия, циклирования нагрузки. Остановка испытания может производиться по достижению заданного значения нагрузки, заданного перемещения или по разрушению образца. За критерий разрушения образца и пре-

Загуляев Станислав Валерьевич. Аспирант каф. строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.