

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-216-224>
УДК 691.327 : 620.17

МОДЕЛЬ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА ОТРЫВ СО СКАЛЫВАНИЕМ

Ю.В. Краснощеков

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,
г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Для контроля прочности бетона железобетонных конструкций применяется метод отрыва со скалыванием, основанный на эмпирической пропорциональной зависимости прочности бетона и усилия вырывания специального анкера с разжимным конусом. Отсутствие физической модели разрушения бетона при отрыве со скалыванием – признак несовершенства этого метода, затрудняющий поиск путей повышения точности и достоверности результатов. Цель данного исследования – разработка физической модели разрушения бетона для определения расчетной прочности методом отрыва со скалыванием.

Материалы и методы. Модель прочности бетона представляет собой механизм местного разрушения путем вырывания массива бетона в виде условного конуса при извлечении из заранее изготовленной скважины анкера. Принято, что разрушение происходит в два этапа: от выкалывания бетона с образованием трещин в плоскости вершины бетонного конуса на первом этапе и последующего образования трещин по боковой поверхности конуса при извлечении анкера. Расчетом определяется среднее значение прочности бетона на растяжение. Для перехода к сопротивлениям сжатию используется усредненное значение отношения сопротивлений бетона сжатию и растяжению или формула Фере. Модель проверена расчетом 6 опытных измерений.

Выводы. Установлено, что принимаемая при испытании бетона методом отрыва со скалыванием эмпирическая зависимость сопротивления бетона сжатию и усилия вырывания анкера возможна только при линейной зависимости сопротивлений бетона сжатию и растяжению. Однако действительное отношение сопротивлений бетона сжатию и растяжению имеет нелинейный характер, поэтому для относительно слабых бетонов возможность завышения прочности бетона на сжатие эмпирической зависимостью нивелируется понижающим коэффициентом, а для более прочных бетонов результаты измерений оказываются заниженными.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прочность бетона, метод отрыва со скалыванием, теоретическая модель, напряженное состояние, анкер с разжимным конусом.

Поступила 07.03.21, принята к публикации 28.04.21.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Краснощеков Ю.В. Модель прочности бетона на отрыв со скалыванием / Ю.В. Краснощеков. – DOI <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-216-224> // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18, № 2(78). – С. 216-224.

© Краснощеков Ю.В., 2021



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-216-224>

MODEL OF SHEAR TEST FOR TEARING STRENGTH OF CONCRETE

Yuri V. Krasnoshchekov

Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)
Omsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. To control the concrete strength of reinforced concrete structures the shear test based on the empirical proportional dependence of concrete strength and tear force of a special purpose anchor with an expanding cone is used. The absence of a physical model of a concrete deterioration when tearing strength is a sign of the defect of the method which hampers the search of the ways for accuracy increase and test validity. The purpose of this study is to develop a physical model of concrete deterioration to determine the calculated strength by the shear test.

Materials and methods. The concrete strength model is a mechanism for local deterioration by tearing out a body of concrete in the form of an indicative cone when extracting it from a pre-fabricated anchor well. It is accepted that the deterioration occurs in two stages: from the melting of the concrete to the formation of cracks in the plane of the apex of the concrete cone in the first stage and the subsequent formation of cracks along the lateral surface of the cone during the extraction of the anchor. For transition to compression resistance, the average of the ratio of concrete resistance to compression and tensile or Fere formula shall be used. The model was verified by the calculation of 6 test measurements.

Conclusions. It has been established that the empirical correlation between the resistance of concrete to compression and the force of extraction of the anchor in the concrete test is only possible if the resistance of concrete is linearly related to compression and extension. However, the actual ratio of concrete resistance to compression and tensile is non-linear, so for relatively weak concrete the possibility of overestimating the strength of concrete on compression empirical dependence is offset by a reduction factor, and for more durable concrete, measurements are underestimated.

KEYWORDS: strength of concrete, shear test, theoretical model, stress state, anchor with expanding cone.

Submitted 07.03.21, revised 28.04.21.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Krasnoshchekov Y.V. Model of shear test for tearing strength of concrete. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18 (2): 216-224. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-216-224>

© Krasnoshchekov Y.V., 2021



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Метод отрыва со скалыванием основан на пропорциональной зависимости прочности бетона и усилия вырывания специального анкера с разжимным конусом. Однако объяснить механизм местного разрушения бетона в зависимости от прочности на сжатие до сих пор не удавалось. Отсутствие физической модели разрушения бетона при отрыве со скалыванием – очевидный недостаток этого метода, затрудняющий поиск путей повышения точности и достоверности результатов. Цель данного исследования – разработка физической модели разрушения бетона для определения расчетной прочности методом отрыва со скалыванием.

2. Расчетная теоретическая модель прочности бетона получена в результате анализа причин местного разрушения при вырывании массива бетона закрепленным в нем анкером. Предположено, что основной причиной разрушения является образование трещин от растягивающих (раскалывающих) напряжений и излома массива бетона при извлечении анкера. Расчетом определяется среднее значение прочности бетона на растяжение на условной поверхности основания массива, размеры которой зависят от параметров анкера.

3. Установлено, что при преобразовании сопротивления бетона растяжению в сопротивление сжатию нарушается пропорциональная зависимость прочности бетона и усилия вырывания. В результате этого применение методом отрыва со скалыванием эмпирических коэффициентов пропорциональности может привести к ошибочным результатам испытаний. Чем точнее выполняется преобразование прочности на растяжение в прочность на сжатие, тем точнее результаты расчета с использованием разработанной модели и опытных значений выдергивающих усилий.

Основное предназначение теоретической модели – проверочный расчет прочности бетона на действие опытных значений выдергивающих усилий с учетом проскальзывания анкеров. Теоретическая модель необходима для определения путей совершенствования эмпирического метода отрыва со скалыванием и выявления причин возможных ошибок измерений.

ВВЕДЕНИЕ

Для контроля прочности бетонов монолитных и сборно-монолитных конструкций применяется метод отрыва со скалыванием¹. Метод основан на связи прочности бетона со средним значением усилия местного разрушения бетона при вырыве из него анкерного устройства. Метод относят к прямым неразрушающим методам контроля, так как для его реализации не требуется построения градуировочных зависимостей, но используются универсальные функции, привязанные к прочности бетона конструкций. В качестве такой функции применяется эмпирическая зависимость в виде²:

$$R_k = m_1 m_2 P, \quad (1)$$

где m_1 – коэффициент, учитывающий максимальный размер крупного заполнителя в зоне вырыва и принимаемый равным 1 при крупности заполнителя менее 50 мм; m_2 – коэффициент пропорциональности для перехода от усилия вырыва P в кН к кубиковой прочности бетона на сжатие R_k в МПа.

Механические методы определения прочности бетона путем испытания на отрыв со скалыванием подразделяют на два вида: основанные на зависимости между сопротивлением сжатию и величиной сцепления металла с бетоном, а также на определении сопротивления сжатию по величине усилия, необходимого для отрыва и скалывания куска бетона из конструкции [1]. К первому виду, в частности, относится метод Г.Л. Перфильева, заключающийся в том, что в бетонируемую конструкцию заделывают арматурные стержни, при выдергивании которых с помощью динамометра определяют усилие и сопротивление бетона в зависимости от его сцепления с арматурой. Для испытания методом второго вида вместо арматурного стержня применяется специальный анкер (вырывной стержень) с утолщением на конце. При выдергивании такого стержня происходит скалывание бетона у конца анкера. Этот метод развил Б.Г. Скрамтаев, предложив для определения прочности затвердевшего бетона закладывать стержень в пробитую шлямбуром скважину с зачеканкой полостей высокопрочным раствором. опыты показали,

¹ ГОСТ 18105–2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Москва : Стандартинформ, 2010. С. 19. Дата введения: 2020-01-01.

² ГОСТ 22690–2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. Москва : Стандартинформ, 2019. С. 20. Дата введения: 2016-04-01.

что при выдергивании стержня разрыв всегда происходит по бетону конструкции. Позднее И.В. Вольф предложил применять в комбинации со стержнем разжимной конус, в результате чего анкер становится распорным [2].

Метод отрыва со скалыванием наряду с другими методами неразрушающего контроля за прочностью бетона широко применяется не только в России, но и за рубежом³ [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Приборы, реализующие метод отрыва со скалыванием, изготавливают в РФ, США, Канаде, скандинавских странах и др. За рубежом метод отрыва со скалыванием используется только для приближенной оценки прочности бетона, так как считается, что он уступает по достоверности и точности методу испытания образцов, отобранных из конструкций [9]. Для обеспечения достоверности этого метода зарубежные стандарты требуют построения частных градуировочных зависимостей, что усложняет технологию измерений и удорожает испытания.

При сравнении результатов измерений прочности бетона разными методами неразрушающего контроля оказалось, что в подавляющем большинстве случаев прочность, определенная по методу отрыва со скалыванием, имеет большее значение, причем расхождение на ряде объектов достигало 50% [10, 11, 12, 13]. Конечно, по этим данным нельзя однозначно утверждать, что метод отрыва со скалыванием дает завышенные результаты, тем более что, по мнению Б.Г. Скрамтаева, метод испытания бетона на отрыв и скалывание обеспечивает наибольшую точность в сравнении с другими неразрушающими механическими методами⁴.

К сожалению, возникновение сомнений в достоверности метода обосновано отсутствием физической модели местного разрушения бетона при извлечении анкера. Авторы методического пособия [14] объясняют этот факт тем, что рекомендуемые для проектировщиков эмпирические зависимости, характеризующие несущую способность анкера по контакту с бетонным основанием, не могут быть обоснованы теоретическими зависимостями, поскольку напрямую зависят от конструктивных особенностей каждого анкера.

Отсутствие физической модели разрушения бетона при отрыве со скалыванием – признак несовершенства этого, как и любого другого, эмпирического метода, затрудняющий поиск путей повышения точности и достоверности. Для устранения этого недостатка в данном исследовании решается задача о разработке физической модели разрушения бетона при отрыве со скалыванием.

Цель данного исследования – разработка физической модели разрушения бетона для оценки прочности методом отрыва со скалыванием.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Приступая к выполнению поставленной задачи, отметим, что термины, образующие название метода отрыва со скалыванием, очевидно, связаны с характером местного разрушения бетона конструкции при выдергивании анкера. Бетон при действии на него вырывающего усилия находится в сложном напряженно-деформированном состоянии. Различают два представления о разрушении материала в таких условиях: как о явлении отрыва от действия главных растягивающих напряжений или деформаций удлинения и о явлении среза или скалывания, обусловленном действием касательных напряжений. Сжимающие напряжения сами по себе не могут привести к разрушению материала⁵ [15]. Бетон может разрушаться как путём отрыва, так и путем среза. Действительный характер разрушения можно установить из сопоставления сопротивлений бетона отрыву и скалыванию. При испытании методом отрыва со скалыванием происходит обычно вырывание анкером массива бетона в виде усеченного конуса, что свидетельствует о разрушении путем отрыва. Это означает, что сопротивление бетона отрыву (растяжению) меньше сопротивления срезу. В противном случае разрушение происходило бы путем скалывания.

При формировании модели прочности бетона исходили из предпосылки разрушения бетона от выкалывания по поверхности условного конуса выдергивающим усилием $P = P_1 + P_2$ (рисунок 1). Исходя из принципа разложения сил, принято, что разрушение осуществляется в два этапа.

³ Биби Э.В., Нараянан Р.С. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 2: Проектирование железобетонных конструкций / пер. с англ. Москва : МГСУ, 2013. 292 с.

⁴ Лещинский М.Ю., Скрамтаев Б.Г. Испытание прочности бетона. Москва : Стройиздат, 1973. 272 с.

⁵ Беляев Н.М. Сопротивление материалов. Москва : Наука. 1976. 856 с.

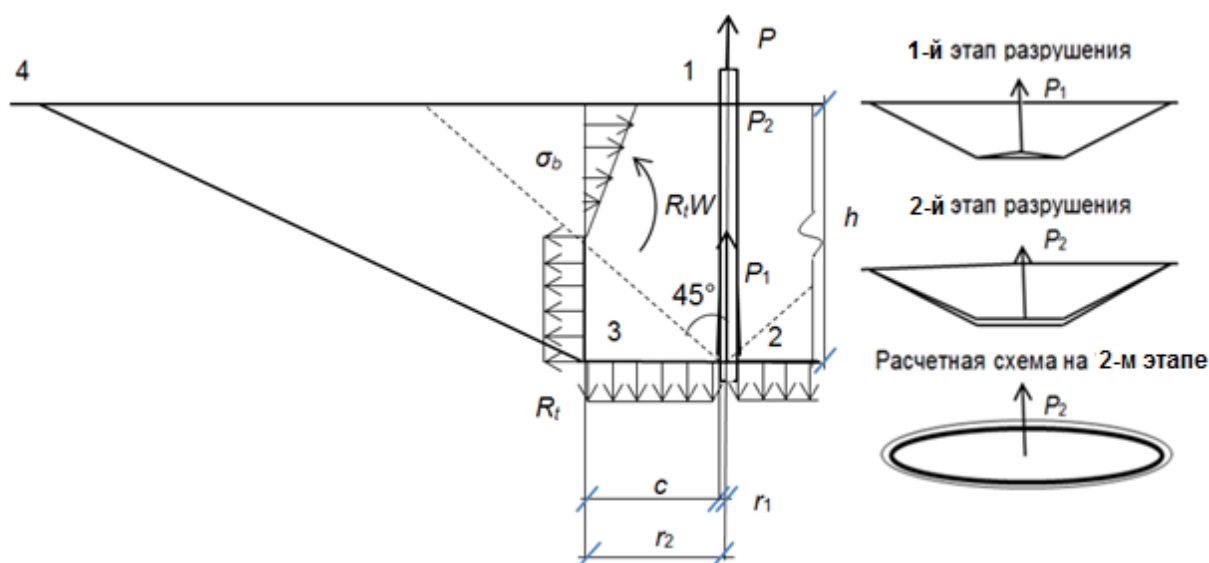


Рисунок 1 – Схема усилий при разрушении бетона методом отрыва со скалыванием

Figure 1 – Diagram of the forces during the concrete deterioration with a shear test

Источник: составлено автором на основе изучения механизма разрушения бетона

На первом этапе от усилия P_1 происходит истощение прочности бетона на выкалывание, эквивалентной действию напряжений R_p , с образованием трещины в плоскости вершины бетонного конуса (линия 2–3). На втором этапе при извлечении анкера усилием P_2 от действия момента $P_2 r_2$ образуются трещины по боковой поверхности конуса (линия 4–3) и окончательное разрушение.

Расчет на выкалывание производится из условия $P \leq 0,5R_t A$ при площади $A = \pi[(h + r_1)^2 - r_1^2]$ основания выкалываемого бетонного конуса с образующей, направленной под углом 45° к оси⁶. Горизонтальная площадь отрыва бетона в плоскости вершины конуса определяется из условия прочности на растяжение

$$A_t = \pi[(h + r_1)^2 - r_1^2]/2 = P_1/R_t. \quad (2)$$

В ряде стран распространена концепция расчетной модели разрушения анкерной в результате раскалывания бетонной оболочки, окружающей арматуру, от кольцевых напряже-

ний [17, 18, 19]. Идея этой модели была впервые изложена Р. Тепферсом [16]. Распределение круговых (раскалывающих) напряжений в бетонной оболочке с арматурным стержнем показано на рисунке 2. Р. Тепферс, рассматривая напряженно-деформированное состояние бетонной оболочки в упругой стадии, принимал распределение напряжений по длине анкерной под углом $\alpha = 45^\circ$. В работах [17, 18] предположено, что в предельном состоянии угол наклона зависит от соотношения прочности бетона на растяжение и срез.

Источник: заимствовано [18] с авторским изменением и дополнением

Образование перелома по линии, разделяющей нижнее основание и боковую поверхность конуса выкалывания, иногда можно проследить при испытании (рисунок 3). Обратим внимание, что в действительности поверхность отрыва бетона (в пределах размера с) скорее криволинейная, чем горизонтальная, как принято в расчетной схеме для упрощения.

⁶ Гольшев А.Б., Бачинский В.Я., Полищук В.П., Харченко А.В., Руденко И.В. Проектирование железобетонных конструкций. Киев : Будивальники. 1990. 544 с.

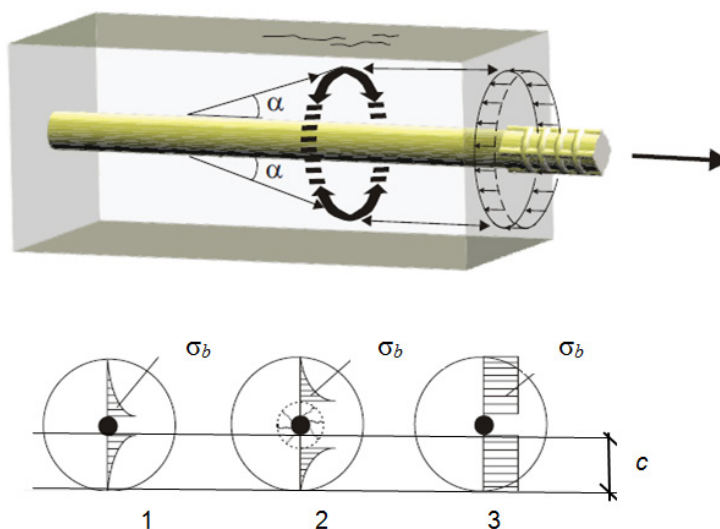


Рисунок 2 – Растягивающие напряжения в бетонной оболочке в упругой стадии – 1, в упругой стадии при наличии трещин – 2 и в пластической стадии – 3

Figure 2 – Tensile stresses in the concrete shell in the elastic stage – 1, in the elastic stage with cracks – 2 and in the plastic stage – 3

Источник: заимствовано [18] с авторским изменением и дополнением



Рисунок 3 – Выкалывание бетона при испытании на отрыв со скалыванием

Figure 3 – Breaking out of concrete during a shear test

Источник: заимствовано в сети Интернет с авторским дополнением

После образования горизонтальной трещины массив бетона, характеризуемый точками

1, 3, 4 представляет собой круговую консоль, нагруженную усилием P_2 . Расчетная схема массива представлена на рисунке 1 в виде круглой пластины, защемленной по контуру. Несущая способность бетонной пластины характеризуется моментом $M = R_t W$, где $W = bh^2/3,5$ – момент сопротивления сечения высотой h с учетом неупругих свойств бетона в предельном состоянии. Момент на единичной ширине контура пластины в виде окружности принимается по справочным данным $M = 1 \cdot P_2/4\pi^7$.

Таким образом, расчетом по схеме 1 определяется среднее значение прочности бетона на растяжение по формуле

$$R_t = P/(4\pi W + A_t). \quad (3)$$

Выражение $(2\pi W + A_t)^{-1}$ является коэффициентом пропорциональности в виде отношения R_t к P . Единичная величина момента сопротивления эквивалентна площади сечения и имеет соответствующую размерность. Теоретическая зависимость (3) является физической моделью прочности бетона на растяжение при испытании методом отрыва со скалыванием. Следует отметить, что получаемые при расчете и испытании значения напряжений (сопротивлений) являются средними.

⁷ Вайнберг Д.В., Вайнберг Е.Д. Расчет пластин. Киев : Будівельник, 1870. 436 с.

Для перехода к нормативным или расчетным значениям можно руководствоваться соответствующими пособиями⁸.

Методом отрыва со скалыванием можно не только определить прочность бетона, но и оценить соотношение сопротивлений бетона растяжению и срезу t/R_t . В данном случае сопротивление срезу понимается как максимальное значение касательных напряжений в бетоне, окружающем анкер, $t = P/2\pi r_1 h$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выражение в знаменателе формулы (3) зависит только от параметров анкера h и r_1 . Значения параметров анкера приведены, в частности, в руководстве по использованию прибора ОНИКС ОС-100⁹.

Например, при $h = 4,8$ см и $r_1 = 1,2$ см (радиус шпура) получены $A_t = 54,2$ см² и $2\pi W = 82,7$ см². Сопротивление бетона растяжению

$$R_t = P/0,0137 \text{ кН/м}^2. \quad (4)$$

Таким образом, расчетом установлена линейная зависимость сопротивления бетона растяжению от выдергивающей силы с частным значением (применительно к анкеру $h = 4,8$ см) коэффициента пропорциональности $R_t/P = (2\pi W + A_t)^{-1} = 0,073$ см⁻². Если для преобразования сопротивления бетона растяжению в сопротивление сжатию применить соотношение средних значений сопротивлений растяжению при раскалывании и сжатию $R_t/R_k = 0,08$ согласно ГОСТ 10180¹⁰, то коэффициент пропорциональности равен 0,91, что соответствует коэффициенту m_2 в формуле (1).

Подставляя в (4) $0,08R_k$ вместо R_t , получим при условии выражения P в кН прочность бетона на сжатие $R_k = P/1000 \cdot 0,0137 \cdot 0,08 \approx 0,91P$ МПа. Таким образом, расчетная модель прочности бетона соответствует эмпирической зависимости (1) с коэффициентом $m_2 = 0,9$ для анкера $h = 4,8$ см.

Для анкера $h = 3,5$ см и $r_1 = 0,8$ см получено $A_t = 28,0$ см², $4\pi W = 44,0$ см² и $R_k = P/1000 \cdot 0,0072 \cdot 0,08 \approx 1,74P$ МПа или $R_k \approx P$ при $m_2 = 1,7$ в эмпирической зависимости.

В некоторых случаях (для бетонов малой прочности) более приближенными к расчет-

ной модели опытные данные можно получить, если преобразование сопротивления бетона растяжению в сопротивление сжатию выполнять по известной формуле Фере $R_t = 0,234R_k^{2/3}$, как это принято в нормах проектирования железобетонных конструкций.

Применение разработанной модели позволяет расчетом определить влияние проскальзывания анкера на результаты измерения. Руководством проскальзывание Δh анкера учитывается коэффициентом $\gamma = [h/(h - \Delta h)]^2$. Например, при $\Delta h = 0,1h$ получено $\gamma = 1,235$. Влияние проскальзывания анкера в расчетной модели можно учесть соответствующим уменьшением величины h на 10%. Для анкера, рассмотренного в примере, новое значение $h = 4,32$ см. При этом получено $A_t = 45,6$ см², $4\pi W = 67,0$ см², $R_t = P/113$ кгс/см², $R_k = P/0,0113 \cdot 0,08$ и $R_k = 1,106P$ при $\gamma = 1,106/0,9 = 1,229$.

Расчетная модель использована для анализа результатов испытаний, выполненных В.В. Овчинниковой при обследовании монолитных фундаментов зданий в октябре 2020 г. Для фундаментов применен тяжелый бетон проектного класса В 25 и В 30. Измерения прочности производились прибором ОНИКС ОС-100. Для анализа представлены показания прибора о кубиковой прочности бетона $R_{k,оп}$ в возрасте 7-9 сут при твердении с электропрогревом. Принятые для дальнейших расчетов и приведенные в таблице выдергивающие усилия P определены из зависимости (1) при $m_1 = 1$ и $m_2 = 0,9$. Теоретические значения растягивающих напряжений R_t получены по формуле (3) $R_t = P/1000 \cdot 0,0137$ МПа. Соответствующие напряжения сжатия (кубиковая прочность) $R_k = R_t/0,08$. Максимальные касательные напряжения на поверхностях анкерного шпура определены по формуле $t = P/2\pi r_1 h$.

Результаты, представленные в столбцах 6 и 7 (перед чертой) подтверждают высокую эффективность разработанной модели. За чертой приведены результаты проверочного расчета с применением формулы Фере. Они свидетельствуют о том, что опытные данные сопротивлений бетона сжатию по сравнению с данными теоретической модели занижены.

⁸ Методика статистической оценки прочности бетона в железобетонных конструкциях. Методическое пособие. М. : 2017. 148 с.

⁹ Измеритель прочности материалов ОНИКС-1. Челябинск : Интерприбор. 2014. 56 с.

¹⁰ ГОСТ 10180–2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М. : Стандартинформ, 2013. С. 30. Дата введения: 2013-07-01.

Таблица
Результаты проверочного расчета опытных измерений

Table
Results of verification calculation of experimental measurements

№	$R_{k,он}$, МПа	P , кН	R_r , МПа	R_k , МПа	$m_2 = R_k/P$	$R_k/R_{k,он}$	τ , МПа	τ/R_t
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	28,4	31,6	2,31	28,9/31,0	0,91/0,98	1,02/1,09	8,39	3,6
2	31,0	34,4	2,51	31,4/35,1	0,91/1,02	1,01/1,13	9,13	3,6
3	29,9	33,2	2,43	30,4/33,5	0,92/1,01	1,02/1,12	8,81	3,6
4	44,7	49,7	3,63	45,4/61,1	0,91/1,23	1,02/1,37	13,19	3,6
5	37,0	41,1	3,00	37,5/45,9	0,91/1,12	1,01/1,24	10,91	3,6
6	28,4	31,6	2,31	33,0/31,0	0,91/0,98	1,02/1,09	8,39	3,6

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получена физическая модель прочности бетона на растяжение при испытании методом отрыва со скалыванием. Основой модели является механизм местного разрушения бетона при выдергивании анкера с разжимным конусом в результате отрыва и излома бетонного массива в виде условного усеченного конуса после образования трещины скалывания на поверхности конуса. Определяемая с помощью физической модели прочность бетона зависит от параметров анкера.

Установлено, что эмпирическая линейная зависимость (1) соответствует теоретической модели при преобразовании расчетной прочности на растяжение (2) в практически востребованную прочность на сжатие через усредненное отношение $R_t/R_k = 0,08$. Отличие действительного отношения R_t/R_k от усредненного значения вносит определенную погрешность в результаты расчета и испытания. В эмпирической зависимости завышение устраняется применением понижающего коэффициента m_2 . Для более прочных бетонов (больше В 30), наоборот, эмпирическая и расчетная прочность на сжатие занижаются. Занижение прочности на сжатие для прочных бетонов подтверждают расчеты с применением формулы Фере.

Отмеченные нюансы удалось установить из анализа результатов расчета с использованием разработанной модели. Основное предназначение модели – для проверочного расчета на действие опытных значений выдергивающих усилий. Чем точнее выполняется преобразование прочности на растяжение в прочность на сжатие, тем точнее результаты расчета с использованием разработанной модели и опытных значений выдергивающих усилий. Применение теоретической модели при анализе опытных данных позволяет определить пути совершенствования эмпирической модели в случаях обнаружения ошибочности результатов измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вольф И.В. [и др.] Определение прочности бетона в конструкциях методом вырывания стержней // Бетон и железобетон. 1973. №10. С. 20–22.
2. Saleem M., Hasir M. Bond Evaluation of Concrete Bolts Subjected to Impact Loading. Journal of Materials and Structures 2016. 49(9): 3635-3646.
3. Hoehler M., Eligehausen R. Behavior and testing of anchors in simulated seismic cracks. ACI Structural Journal, 2008. 105(3): 348-357.
4. EN 1992-4. 2018 Eurocode 2 – Design of concrete structures – Part 4: Design of fastenings for use in concrete – CEN, Brussels, 2018.
5. ETAG 001 Guideline for European technical approval of metal anchors for use in concrete – EOTA, Brussels, 2013.
6. ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete – American Concrete Institute, 2014.
7. Улыбин А.В., Зубков С.В., Федотов С.Д. Ошибка определения прочности бетона методом отрыва со скалыванием // Научные труды Общества железобетонщиков Сибири и Урала. – Новосибирск. СГУПС. 2016. Вып. 12. С. 1–7.
8. Петраков А.Н., Букин А.В. Определение прочности бетона методами разрушающего и неразрушающего контроля // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2010. №1. С. 89–94.
9. Улыбин А.В. О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений. Инженерно-строительный журнал. 2012. №4. С.10–15.
10. Леонович С.Н., Снежков Д.Ю. Исследование неравнопрочности бетона на объекте монолитного строительства комплексным неразрушающим методом контроля // Известия ВУЗов. Строительство. 2009. №8 (608). С.108–115.
11. Коревицкая М.Г., Тухтаев Б.Х., Иванов С.И. Применение неразрушающих методов при контроле прочности высокопрочного бетона. Промышленное и гражданское строительство. 2013. №1. С. 53–54.
12. Проектирование анкерных креплений строительных конструкций и оборудования: методическое пособие. Москва. 2018. 106 с.

13. FRP reinforcement in RC structures. Technical report prepared by a working party of Task group 9.3. FIB bulletin 40 (September 2007).

14. Krasnoshchekov Y.V., Krasotina L.V. Pulido-Delgado J.L. Models of direct anchoring of reinforcement in concrete. Magazine of Civil Engineering. 2018. 79(3): 149-160.

15. Jansson, A., Lofgren I., Lundgren K., Gylltoft K. Bond of reinforcement in self-compacting steel-fibre-reinforced concrete. Magazine of Concrete Research, 2012, Volume 64(7): 617-630.

16. Tefers, R.A. Theory of Bond Applied to Overlapped Tensile Reinforcement Splices for Deformed Bars. PhD thesis, Chalmers University of Technology. Go'teborg, Sweden. 1973.

17. Краснощекоев Ю.В. Моделирование раскалывания бетона в зоне анкерования ненапрягаемой арматуры // Вестник СибАДИ. 2017. № 2. С. 64–69.

18. Краснощекоев Ю.В., Красотина Л.В. О расчете прочности железобетонных элементов по наклонным сечениям // Промышленное и гражданское строительство. 2020. №6. С. 17–25.

REFERENCES

1. Volf I.V., etc. Opređenje prochnosti betona v konstruktsiyach metodom vyryvaniya sterzhney [Determination of the strength of concrete in structures by pulling out rods]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 1973. № 10. Pp. 20-22. (In Russian)

2. Saleem M., Hasir M. Bond Evaluation of Concrete Bolts Subjected to Impact Loading [Оценка сцепления бетонных болтов, подвергнутых ударной нагрузке]. *Journal of Materials and Structures* 2016. 49(9). Pp. 3635-3646.

3. Hoehler M., Eligehausen R. Behavior and testing of anchors in simulated seismic cracks. *ACI Structural Journal*, 2008. 105(3). Pp. 348-357.

4. EN 1992-4. 2018 Eurocode 2 – Design of concrete structures – Part 4: Design of fastenings for use in concrete – CEN, Brussels, 2018.

5. ETAG 001 Guidline for European technical approval of metal anchors for use in concrete – EOTA, Brussels, 2013.

6. ACI 318-14 Building Code Requirements for Structural Concrete – *American Concrete Institute*, 2014.

7. Ulybin A.V., Zubkov S.V., Fedotov S.D. Oshibka opredeleniya prochnosti betona metodom otryva so skalyvaniem [Error in determining the strength of concrete by the method of separation with chipping] // Nauchnye Trudy Obshchestva zhelezobetonshchikov Sibiri i Urals [Scientific works of the Society of Reinforced Concrete Workers of Siberia and the Urals]. *Novosibirsk. SGUPS*. 2016. 12: 1-7. (In Russian)

8. Petrakov A.N., Bukin A.V. Opređenje prochnosti betona metodami razrushayushchego i nerazrushayushchego kontrolya [Determination of concrete strength by destructive and non-destructive testing methods]. // *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta*. 2010. № 1: 89-94. (In Russian)

9. Ulybin A.V. O vybore metodov kontrolya prochnosti betona postroennykh sooruzheniy [On the choice of methods for monitoring the strength of concrete constructed structures]. *Inzhenerno-stroitelny zhurnal*. 2012. № 4: 10-15. (In Russian)

10. Leonovich S.N., Snezhkov D.Yu. Issledovanie neravnoprochnosti betona na ob'ekte monolitnogo stroitelstva kompleksnym nerazrushayushchim metodom kontrolya [Investigation of non-uniform strength of concrete at a monolithic construction site by a complex non-destructive testing method]. *Izvestiya VUZov Stroitelstvo*. 2009. 8 (608): 108-115. (In Russian)

11. Korevitskaya M.G., Tuchtaev B.Kh., Ivanov S.I. Primenenie nerazrushayushchikh metodov pri kontrole prochnosti vysokoprochnogo betona [Application of non-destructive methods for testing the strength of high-strength concrete]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo*. 2013. № 1: 53-54. (In Russian)

12. Proektirovanie ankernykh krepleniy stroitelnykh konstruksiy i oborudovaniya [Design of anchorages of building structures and equipment]. Moscow. 2018. 106 s. (In Russian)

13. FRP reinforcement in RC structures. Technical report prepared by a working party of Task group 9.3. FIB bulletin 40 (September 2007).

14. Krasnoshchekov Y.V., Krasotina L.V., Pulido-Delgado J.L. Models of direct anchoring of reinforcement in concrete [Модели прямой анкерования арматуры в бетоне]. Magazine of Civil Engineering. 2018. 79(3): 149-160.

15. Jansson, A., Lofgren I., Lundgren K., Gylltoft K. Bond of reinforcement in self-compacting steel-fibre-reinforced concrete. Magazine of Concrete Research, 2012, Volume 64(7): 617-630.

16. Tefers, R.A. Theory of Bond Applied to Overlapped Tensile Reinforcement Splices for Deformed Bars. PhD thesis, Chalmers University of Technology. Go'teborg, Sweden. 1973.

17. Krasnoshchekov Y.V. Modelirovanie raskalvaniya betona v zone ankerovki nenapryagaemoy armatury [Modeling of concrete splitting in the anchoring zone of non-stressed reinforcement]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017; 2: 64-69. (In Russian)

18. Krasnoshchekov Y.V., Krasotina L.V. O raschete prochnosti zhelezobetonnykh elementov po naklonnym secheniyam [Calculation of strength of reinforced concrete elements by inclined sections]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo*. 2020. 6: 17-25. (In Russian)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Краснощекоев Юрий Васильевич – д-р. техн. наук, ORCID 0000-0002-6695-1648, проф. кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО «Сибирский автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, Россия, г. Омск, пр. Мира, 5. E-mail: uv1942@mail.ru)

Yuri V. Krasnoshchekov – Dr. of Sci, ORCID 0000-0002-6695-1648, Professor of the Building Structures Department, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (644080, Russia, Omsk, Mira Ave, 5. E-mail: uv1942@mail.ru)