К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЁННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТРОПИЛЬНЫХ БАЛОК ПРИ СНИЖЕНИИ НАГРУЗОК ОТ ЛЁГКИХ ПОКРЫТИЙ

Захарян А.Д.
Мирзаев П.Т.
Ташкентский архитектурно-строительный университет
arnela497@gmail.com

Аннотация. *Рассматривается задача повышения эффективности предварительно напряжённых железобетонных двускатных стропильных балок при применении лёгких покрытий, в том числе сэндвич-панелей. Снижение постоянной нагрузки создаёт предпосылки для уменьшения материалоёмкости балок при сохранении требований по прочности, жёсткости и трещиностойкости. Предлагается исследовать влияние изменения нагрузки и параметров армирования на напряжённо-деформированное состояние балок пролётами 12, 18, 20 и 24 м с применением нелинейной деформационной модели и параметрического анализа. Экспериментальной основой исследования являются предварительные испытания опытной балки пролётом 24 м.*

Ключевые слова: *предварительно напряжённый железобетон, стропильная балка, лёгкие покрытия, сэндвич-панели, нелинейная деформационная модель, армирование, трещиностойкость, жёсткость.*

Annotatsiya. *Yengil qoplamalar, jumladan sendvich-panellardan foydalanishda oldindan zo‘riqtirilgan temirbeton ikki nishabli tom to‘sinlarining samaradorligini oshirish masalasi ko‘rib chiqiladi. Doimiy yukning kamayishi mustahkamlik, bikrlik va darzbardoshlik talablarini saqlagan holda to‘sinlarning material sarfini kamaytirish imkonini yaratadi. 12, 18, 20 va 24 m oraliqli to‘sinlarning kuchlanish-deformatsiya holatini nochiziqli deformatsion model va parametrik tahlil asosida o‘rganish taklif etiladi. Tadqiqotning eksperimental asosi 24 m oraliqli tajriba to‘sinining dastlabki yuklama sinovlari hisoblanadi.*

Kalit so‘zlar: *oldindan zo‘riqtirilgan temirbeton, tom to‘sini, yengil qoplamalar, sendvich-panellar, nochiziqli deformatsion model, armaturalash, darzbardoshlik, bikrlik.*

Abstract. *The paper considers the efficiency improvement of prestressed reinforced concrete gable roof beams used with lightweight roof systems, including sandwich panels. The reduction of permanent roof loads creates opportunities to reduce material consumption while maintaining strength, stiffness and crack resistance requirements. A nonlinear deformation model combined with parametric analysis is proposed for studying beams with spans of 12, 18, 20 and 24 m. The experimental basis of the study is preliminary load testing of a 24 m span prototype beam.*

Keywords: *prestressed reinforced concrete, roof beam, lightweight roofing, sandwich panels, nonlinear deformation model, reinforcement, crack resistance, stiffness.*

Введение

Современное строительство характеризуется широким применением облегчённых конструкций покрытий, в том числе многослойных сэндвич-панелей. По сравнению с традиционными тяжёлыми покрытиями их использование позволяет снизить постоянную нагрузку на несущие конструкции.

Предварительно напряжённые железобетонные стропильные балки традиционно проектировались с учётом более высоких нагрузок от тяжёлых покрытий. При переходе к лёгким покрытиям изменяется напряжённо-деформированное состояние балок, вследствие чего параметры существующих конструкций могут оказаться избыточными с точки зрения материалоёмкости.

Расчёт предварительно напряжённых железобетонных элементов должен учитывать начальные напряжения и деформации, потери предварительного напряжения и совместную работу бетона и арматуры [1, 2, 6]. Современные расчётные подходы предусматривают применение нелинейных деформационных моделей, позволяющих учитывать физическую нелинейность материалов и изменение напряжённо-деформированного состояния элементов [2, 6]. Применение нелинейной деформационной модели для расчёта предварительно напряжённых конструкций рассмотрено в работе Э.К. Опбул и Д.А. Дмитриева [4]. Нелинейно-итерационный подход с использованием опытных диаграмм деформирования материалов исследован также в работе Э.К. Опбул, Д.А. Дмитриева и А.А. Ведерниковой [5].

Таким образом, актуальной является задача определения рациональных параметров армирования стропильных балок при сниженных нагрузках от лёгких покрытий.

Цель и методика исследования. Цель исследования — обоснование подхода к определению рациональных параметров армирования предварительно напряжённых железобетонных двускатных стропильных балок пролётами 12, 18, 20 и 24 м при сниженных нагрузках от лёгких покрытий.

Исследование предусматривает анализ влияния величины постоянной нагрузки, геометрических характеристик сечения, количества напрягаемой и ненапрягаемой арматуры и уровня предварительного напряжения на напряжённо-деформированное состояние балок. На следующем этапе планируется применение нелинейной деформационной модели и параметрического анализа. В качестве критериев рациональности принимаются выполнение требований по прочности, жёсткости и трещиностойкости при снижении материалоёмкости конструкции [1, 2, 4–6].

В качестве нормативной основы исследования принимаются положения КМК 2.03.01-21, СП 63.13330.2018 и EN 1992-1-1 [1, 2, 6]. Для оценки результатов предварительных испытаний используются требования ГОСТ 8829-2018 [3].

Экспериментальная часть на текущем этапе ограничена испытанием одной опытной двускатной стропильной балки пролётом 24 м. Предварительные испытания проводились на полигоне предприятия ООО «DURABLE STONE CORP» в соответствии с утверждённой программой испытаний.

Опытная балка предназначена для покрытия здания пролётом 24 м при шаге колонн 12 м. Она выполнена из бетона класса В40 и имеет канатную напрягаемую арматуру 8Ø15,2 К7-1500. Объём бетона составляет 5,34 м³, масса балки — 13 803 кг, суммарный расход арматурной стали — 987 кг.

Результаты предварительных испытаний. В соответствии с программой испытаний определялись нагрузка образования первой трещины, прогибы и ширина раскрытия трещин для оценки жёсткости и трещиностойкости балки [3].

По предварительному расчёту нагрузка образования первой трещины составила 46,7 тс. Фактически первая трещина шириной 0,04 мм появилась в средней части пролёта при нагрузке 48,6 тс, что на 1,9 тс выше предварительно рассчитанного значения.

Предварительно рассчитанная контрольная нагрузка для оценки жёсткости и трещиностойкости составила 58,51 тс, а расчётный прогиб при этой нагрузке — 84 мм. Данные значения относятся к предварительному расчёту и не являются результатами экспериментального определения.

При испытательной нагрузке 57,16 тс фактический прогиб в середине пролёта составил 63 мм, а ширина раскрытия трещин — 0,08 мм. Предельная ширина раскрытия трещин, указанная в протоколе испытаний, составляет 0,3 мм.

При дальнейшем увеличении нагрузки до 65,29 тс прогиб достиг 112 мм, а ширина раскрытия трещин — 0,10 мм. После этого испытания были прекращены по соображениям безопасности. В связи с этим фактическая разрушающая нагрузка балки в проведённых испытаниях не была определена.

Полученные экспериментальные данные характеризуют работу опытной балки на стадиях образования и развития трещин и могут быть использованы для последующей проверки расчётной модели. При этом они не позволяют определить фактическую предельную несущую способность балки, поскольку испытание до разрушения не проводилось.

Научная новизна и перспективы исследования. Предлагаемый подход заключается в совместном использовании нелинейной деформационной модели и параметрического анализа для определения рациональных параметров предварительно напряжённых двускатных стропильных балок при сниженных нагрузках от лёгких покрытий.

На следующем этапе предполагается установить влияние пролёта, величины постоянной нагрузки, геометрии сечения, количества напрягаемой и ненапрягаемой арматуры и уровня предварительного напряжения на напряжённо-деформированное состояние балок. На этой основе планируется определить условия рационального снижения расхода высокопрочной напрягаемой арматуры при сохранении требований по прочности, жёсткости и трещиностойкости.

Экспериментальные данные 24-метровой балки будут использованы как основа для последующего сопоставления расчётных и экспериментальных характеристик. Таким образом, проведённые испытания формируют экспериментальную базу для дальнейшего развития расчётной методики.

Заключение

Проведённые предварительные испытания подтвердили соответствие фактической нагрузки образования первой трещины предварительным расчётным предпосылкам: экспериментальное значение 48,6 тс на 4,1 % превышает расчётное значение 46,7 тс.

При испытательной нагрузке 57,16 тс ширина раскрытия трещин составила 0,08 мм при предельном значении 0,3 мм, что характеризует удовлетворительную работу балки по трещиностойкости на данной стадии нагружения. При

дальнейшем увеличении нагрузки до 65,29 тс наблюдалось существенное увеличение прогиба при незначительном увеличении ширины раскрытия трещин.

Полученные экспериментальные данные формируют основу для верификации нелинейной деформационной модели и последующего исследования влияния снижения нагрузок от лёгких покрытий на рациональные параметры армирования предварительно напряжённых стропильных балок.

Список литературы

1. КМК 2.03.01-21. Бетонные и железобетонные конструкции. — Ташкент, 2021.
2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. — М.: Минстрой России, 2018.
3. ГОСТ 8829-2018. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жёсткости и трещиностойкости. — М.: Стандартинформ, 2019.
4. Опбул Э.К., Дмитриев Д.А. Расчёт прочности предварительно напряжённых конструкций на основе нелинейной деформационной модели на примере многопустотной плиты перекрытия безопалубочной технологии // Вестник гражданских инженеров. — 2019. — № 6 (77). — С. 93–110.
5. Опбул Э.К., Дмитриев Д.А., Ведерникова А.А. Нелинейно-итерационный расчёт прочности сталефиброжелезобетонных элементов с использованием опытных диаграмм деформирования материалов // Вестник гражданских инженеров. — 2017. — № 1 (60). — С. 79–91.
6. EN 1992-1-1:2004. Eurocode 2: Design of concrete structures — Part 1-1: General rules and rules for buildings. — Brussels: CEN, 2004.