

УДК 692.5:691.333

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ДЕРЕВОГРУНТОБЕТОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

САВИЦКИЙ Н. В.¹, *д.т.н, проф.*,
ЕЛИСЕЕВА М. А.^{2*}, *к.т.н.*,
КУЗЬМИН Г.И.^{3*}, *асп.*

¹ Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

^{2*} Кафедра реконструкции и управления в строительстве, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (096) 377 01 36, e-mail: SMU.TGO@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-4474-3255

^{3*} Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (050) 867-30-32, e-mail: kuzminhi@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5073-7778

Аннотация. *Цель.* Одной из целей исследования является создание нового конструктивного решения составного грунтобетонного перекрытия для малоэтажных зданий и установление особенностей их проектирования. *Методика.* Для решения поставленной задачи были использованы существующие методики подбора сечений составных деревянных балок с разномодульными элементами и результаты исследований работы составных деревянных балок с нагельными соединениями ориентированно-стружечной плиты OSB-3 и поясов из деревянных брусков, проведенных в лаборатории деревянных конструкций НАПКС. *Результаты.* Для расчета составной деревогрунтобетонной балки со стенкой из OSB, нагельными соединениями поясов со стенкой и грунтобетонной плиты с несъемной опалубкой из OSB была разработана инженерная методика, в основу которой был положен подход, комбинирования двух расчетных принципов. А именно, γ -метода, регламентированного EN 1995-1-1 (2002), а также упрощенного метода Гирхаммара. *Научная новизна.* Получили дальнейшее развитие представления о комбинированном методе проектирования конструкции деревогрунтобетонного перекрытия. *Практическая значимость.* Разработка инженерной методики расчета составной деревогрунтобетонной балки со стенкой из OSB, нагельными соединениями поясов со стенкой и грунтобетонной плиты с несъемной опалубкой из OSB.

Ключевые слова: конструкция деревогрунтобетонного перекрытия; двутавровая балка; грунтобетонная плита; нагельные соединения; листы OSB; грунтобетон

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ДЕРЕВОГРУНТОБЕТОННОГО ПЕРЕКРИТТЯ

САВИЦЬКИЙ М. В.¹, *д.т.н, проф.*,
ЄЛІСЄЄВА М. О.^{2*}, *к.т.н.*,
КУЗЬМІН Г.І.^{3*}, *асп.*

¹ Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

^{2*} Кафедра реконструкції та управління в будівництві, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (096) 377 01 36, e-mail: SMU.TGO@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-4474-3255

^{3*} Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (050) 867-30-32, e-mail: kuzminhi@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5073-7778

Анотація. *Мета.* Однією з цілей дослідження є створення нового конструктивного рішення композитного грунтобетонного покриття для малоповерхових будівель і встановлення особливостей їх проектування. *Методика.* Для вирішення поставленого завдання були використані існуючі методики підбору перерізів композитних дерев'яних балок з різномодульними елементами і результати досліджень роботи композитних дерев'яних балок з нагельним з'єднанням орієнтовано-стружкової плити OSB-3 і поясів з дерев'яних брусків, проведених в лабораторії дерев'яних конструкцій НАПКБ. *Результати.* Для розрахунку складеної деревогрунтобетонної балки зі стінкою з OSB, нагельного з'єднання поясів зі стінкою і грунтобетонною плитою з перманентною опалубкою з OSB була розроблена інженерна методика, в основу якої було покладено підхід, комбінування двох розрахункових принципів. А саме, γ -методу, регламентованого EN 1995-1-1 (2002), а також спрощеного методу Гірхаммара. *Наукова новизна.* Одержали подальший розвиток уявлення про

комбінований метод проектування конструкції деревогрунтбетонного перекриття. *Практична значимість.* Розробка інженерної методики розрахунку композитної деревогрунтбетонної балки зі стінкою з OSB, нагельного з'єднання поясів зі стінкою і грунтобетонною плитою з перманентною опалубкою з OSB.

Ключові слова: конструкція деревогрунтбетонного перекриття; двотаврова балка; грунтобетонна плита; нагельні з'єднання; листи OSB; грунтобетон

DESIGN FEATURES OF THE TIMBER-SOILCONCRETE FLOORS

SAVYTSKYI M. V.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
YELISIEIEVA M. O.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.)*,
KUZMIN H. I.^{3*}, *P. G.*

¹ Department of Reinforce-Concrete and Stoune Constructions, State Higher Education Establishment «Pridneprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskiy Str., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

^{2*} Department of Reconstruction and Management in Construction, State Higher Educational Establishment «Prydneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskiy, St., 24-a, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. +38 (096) 377 01 36, e-mail SMU.TGO@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-4474-3255

^{3*} Department of Reinforce-Concrete and Stoune Constructions, State Higher Education Establishment «Pridneprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskiy Str., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (050) 867-30-32, e-mail: kuzminhi@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5073-7778

Abstract. Purpose. The aims of this research is creation of new structural solution of a composite timber-soilconcrete floor for low-rise buildings and determination of their design characteristics. **Methodology.** For solution of this problem we used the existing selection techniques of the timber beam cross-sections with some elements with different modulus and the results of research of composit timber beams behavior with a OSB-3 slab and the timber beams which are connected by the self-tapping screws. These results were obtained in the research laboratory at National academy of nature protection and resort construction. **Findings.** We were created the engineering technique for designing of the composite timber-soilconcrete beam where the OSB-3 slab connected with the timber beams by the nag connectors and soilconcrete is connected with permanent formwork by nags too. Engineering technique proposed by us consists of two designs methods: γ -method and Girhammar's method. **Originality.** We have got an idea about the future evolution of the combine technique of designing of the timber-soilconcrete floors. **Practical value.** Development of the engineering technique of designing of timber-soilconcrete floors.

Keywords: a structure of the timber-concrete floor; the I-beam; the timber-soilconcrete slab; the nag connections; t/he OSB slab; soilconcrete

Введение

Современные условия ставят перед строителями новые задачи: индивидуальные жилые дома должны отвечать не только требованиям комфортабельности, энергоэффективности, доступности (невысокой стоимости), но также характеризоваться минимальным негативным воздействием на окружающую среду. То есть строительство сейчас должно осуществляться на основе концепции устойчивого развития. Одним из таких экологически чистых строительных материалов является грунтобетон, изготавливаемый из глинистых грунтов с невысоким добавлением вяжущих веществ.

Глинистые грунты широко распространены в Приднепровском регионе. При ведении строительных работ: отрывке котлованов для фундаментов закладываемых зданий, профилировании дорожного полотна при устройстве дорог образуется огромное количество насыпей из грунтов. Поэтому их привлечение в качестве основного сырья при производстве строительных материалов и конструкций безобжигового типа

является актуальной задачей. Это снизит себестоимость их изготовления.

Сдерживающим фактором повсеместного широкого использования данного сырья является неоднородность химического, минералогического и гранулометрического составов глинистых грунтов, что требует проведения лабораторных исследований основных свойств используемого грунта и корректировки рецептурного состава в каждом отдельном случае.

Существует несколько основных направлений по улучшению свойств грунтобетонных изделий и конструкций, повышению показателей их эксплуатационных характеристик. Использование того или иного способа зависит, в первую очередь, от вида и свойств местного грунта, а также области применения изделия или конструкции, изготовленного из него.

Введение гранулометрических добавок определенной крупности к местным грунтам обеспечивает получение более плотной упаковки частиц смеси, которая в состоянии в широком диапазоне значений сопротивляться внешним

воздействиям. Способ получил название составление «оптимальных смесей». По данным [1], оптимальным содержанием песчаных частиц в глинисто-песчаной смеси, состоящей из суглинка легкого пылеватого и песка средней крупности, является 60 %. При укреплении данной смеси цементом марки ПЦ 400-Д0-Н в количестве 12 %, прочность при сжатии полученного грунтобетона возросла до 4,9 % при содержании песчаных частиц в гранулометрическом составе смеси 40 % и до 17,1 % при 80 % по сравнению с грунтом, имеющим природный зерновой состав. В качестве гранулометрических добавок дисперсных материалов, действующий в Украине ГБН В. 2.3-37641918-554:2013 [2] рекомендует использовать: золы-уноса, золошлаковые смеси, отходы камнедробления, измельченные известняки, опоку, а также легкие суглинки в количестве 10...30 % от массы грунта.

Факторы, влияющие на качество грунтобетона; основные свойства используемых нами грунтов, а также подбор состава грунтобетонной смеси, применяющейся для изготовления грунтобетонной плиты в конструкции плиты перекрытия, освещены в работах [3; 4]. Изначально нами при приготовлении грунтобетонных смесей было принято за оптимальное содержание цемента 10 % от массы грунта. Используемый грунт согласно ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95) при числе пластичности $I_p=7-12$ относится к разновидности суглинков. Для улучшения гранулометрического состава глинистого грунта в смесь добавлялся песок в количестве 15 % от массы грунта, что позволило увеличить прочность при сжатии грунтобетона в 28-суточном возрасте на 21 %. Введение пластифицирующей добавки Релаксол С-3Р при увеличении содержания цемента до 14 % и песка до 25 % повысило прочность при сжатии грунтобетона еще на 15 %, позволив, в конечном счете, получить прочность материала в 5 МПа. Этот состав и был принят как наиболее рациональный.

Следующим этапом работы является проектирование конструкции деревогрунтобетонного перекрытия, состоящего из составной двутавровой балки и грунтобетонной плиты [5] с учетом принятого состава грунтобетона при его максимальной прочности. Балки перекрытия соединены между собой по верхнему поясу листом OSB, который служит в качестве несъемной опалубки и элемента армирования грунтобетонной плиты. В свою очередь, грунтобетонная плита соединена с несъемной опалубкой при помощи нагельных соединений, выполняющих роль анкеров. В качестве стенки в составной двутавровой балке применяется OSB, в качестве полок применяются сосновые бруски. Пояса и стенка соединены между собой при помощи нагельных соединений.

Пояса таких составных балок выполняют из мелкогабаритного деревянного бруса 35...70 мм. Высоту поясов принимают в пределах $h_n \geq h_b/6$. Для стенок используют водостойкую плиту OSB

толщиной от 8 до 16 мм, $h_s \geq l_b/10$. Ширину опорного ребра принимают равной высоте пояса. Поперечные ребра ставят в местах примыкания поперечных балок и приложения местной нагрузки. Толщина плитной части колеблется в пределах 50...70 мм.

Цель

Одной из целей исследования является создание новой конструктивной формы составного грунтобетонного перекрытия для малоэтажных зданий и установление особенностей их проектирования.

Методика

Для решения поставленной задачи были использованы существующие методики подбора сечений составных деревянных балок с разномодульными элементами [8] и результаты исследований работы составных деревянных балок с нагельными соединениями ориентированно-стружечной плиты OSB-3 и поясов из деревянных брусков, проведенных в лаборатории деревянных конструкций НАПКС [6, 10].

Результаты

Для расчета составной деревогрунтобетонной балки со стенкой из OSB, нагельными соединениями поясов со стенкой и грунтобетонной плиты с несъемной опалубкой из OSB была разработана инженерная методика, в основу которой был положен подход, комбинирования двух расчетных принципов. А именно, γ -метода, регламентированного EN 1995-1-1 (2002) [8], а также упрощенного метода Гирхаммара [7].

На данный момент γ -метод является основным методом расчета деревобетонных конструкций, он описан в Европейских строительных нормах.

Расчет деревобетонных конструкций состоит из двух типов анализа: анализа по предельным состояниям по потере несущей способности и анализа по предельным состояниям по пригодности к эксплуатации. Первый предполагает проверку нормальных напряжений в поперечном сечении, второй проверку вертикальных перемещений. Для древесины и бетона условия записываются в следующем виде:

$$\sigma_{ccd} + \sigma_{cmd} \leq f_{ccd} \quad (1)$$

$$\frac{\sigma_{ttd}}{f_{ttd}} + \frac{\sigma_{tmd}}{f_{tmd}} \leq 1 \quad (2)$$

$$\delta \leq L(\sim 250) \quad (3)$$

где,

σ_{ccd} - нормальное напряжение в бетоне при сжатии, МПа;

σ_{cmd} - нормальное напряжение в бетоне при изгибе, МПа;

f_{ccd} - прочность бетона на сжатие, МПа;

σ_{ttd} – нормальное напряжение в древесине при растяжении, МПа;

f_{ttd} – прочность древесины на растяжение, МПа;

σ_{tmd} – нормальное напряжение в древесине при изгибе, МПа;

f_{tmd} – прочность древесины на изгиб, МПа

δ – прогиб, мм;

L – длина балки, мм.

Напряжения и перемещение из уравнений (1-3) могут быть определены при помощи множества методов. В силу предложенного нами метода они будут вычислены при помощи γ -метода и метода Гирхаммара. Независимо от метода, значение напряжений будет зависеть от приложенной нагрузки, модуля упругости древесины и бетона, модуля скольжения соединительного элемента.

Поскольку работа соединительного элемента, как правило, имеет нелинейный характер, то при расчете применяют два различных модуля скольжения. Как правило, $K_u=K_{60}$ соответствует 60% несущей способности соединительного элемента, он используется при анализе предельных состояний по потере несущей способности, в то время как $K_{ser}=K_{40}$ используется при анализе предельных состояний по пригодности к эксплуатации (рис. 1).

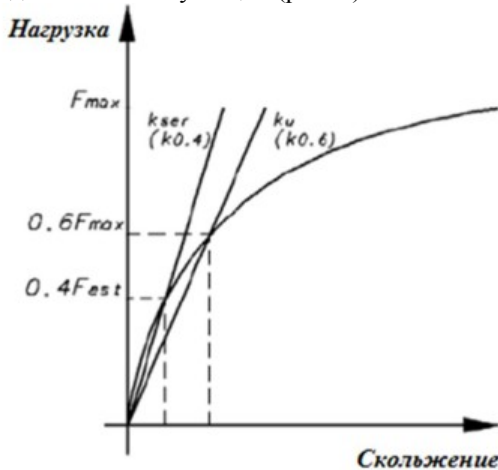


Рис. 1. Модули скольжения соединительных элементов (K_u и K_{ser}) / Modules slip coupling elements

Уравнения (1-3) принимают во внимание эффекты от тепловых деформаций, усадку и ползучесть бетона, а также ползучесть и механическую сорбцию древесины и соединительных элементов.

Следуя указаниям EN 1995-1-1 (2002) [8] необходимо применять метод эффективного модуля. Этот метод использует так называемые факторы ползучести основанный на исследовании длительной нагрузки долгосрочного модуля упругости используемых материалов, которые могут быть суммированы следующим образом.

Можно считать, что долговременные эффекты, такие как перемещения и усилия состоят из двух частей: первая из квази - постоянной нагрузки (средняя по продолжительности нагрузка) (I) и вторая из разницы между кратковременной проектной нагрузкой и квази-постоянной (II) [7].

Часть общего эффекта, что обусловлено (I), определяется с помощью, так называемых эффективных модулей, в то время как часть, которая связана с (II) определяется с использованием средних значений модуля Юнга. Общий эффект является суммой полученных эффектов [7].

Эффективные модули для бетона, древесины и соединительных элементов рассчитываются с использованием уравнений 4-6. Индекс fin относится к «окончательным модулям», для которых определяются долгосрочные эффекты.

$$E_{c,fin} = \frac{E_{cm}(t_0)}{1 + \varphi(t, t_0)} \quad (4)$$

$$E_{c,fin} = \frac{E_{0,mean}}{1 + k_{def,t}} \quad (5)$$

$$k_{fin} = \frac{k}{1 + k_{def,f}} \quad (6)$$

где,

$E_{cm}(t_0)$ – среднее значение модуля Юнга для сжатого бетона при времени нагрузки, t_0 ;

$\varphi(t, t_0)$ – коэффициент ползучести бетона в момент времени t при учете начального времени нагрузки t_0 ;

$E_{0,mean}$ – среднее значение модуля Юнга для растянутой древесины в направлении волокон;

$k_{def,t}$ – коэффициент ползучести древесины и соединительного элемента в момент времени t ;

k – модуль скольжения соответствующий 60% или 40% от несущей способности соединительного элемента, в зависимости от того по какой группе предельных состояний ведется расчет.

Таким образом, общий подход, рекомендованный Еврокодом проверки предельных состояний от обеих групп можно резюмировать следующим образом:

Кратковременная проверка

Кратковременный эффект как напряжение “ σ_{inst} ” может быть выражен в виде функции в следующем виде:

$$\sigma_{inst} = \sigma^{F_{d,u}}(E_{cm}, E_{0,mean}, k_u),$$

Где $F_{d,u}$ обозначает комбинацию нагрузок предельных состояний.

Кратковременный эффект как перемещение “ u_{inst} ” может быть выражен в виде:

$$u_{inst} = u^{F_{d,r}}(E_{cm}, E_{0,mean}, k_u),$$

где $F_{d,r}$ обозначает редкую комбинацию нагрузок.

Долговременная проверка

Долговременный эффект как напряжение “ σ_{fin} ” может быть выражен в виде:

$$\sigma_{fin} = \sigma^{F_{d,p}}(E_{c,fin}, E_{t,fin}, k_{ser,fin}) + \sigma^{F_{d,u}-F_{d,p}}(E_{cm}(t), E_{0,mean}, k_u),$$

где $F_{d,p}$ обозначает комбинацию квази-постоянных нагрузок предельных состояний, а $F_{d,u}$ обозначает комбинацию нагрузок предельных состояний.

Долговременный эффект как перемещение “ u_{fin} ” может быть выражен в виде:

$$u_{fin} = u^{F_{d,p}}(E_{c,fin}, E_{t,fin}, k_{ser,fin}) + u^{F_{d,u}-F_{d,p}}(E_{cm}(t), E_{0,mean}, k_{ser}),$$

где $F_{d,r}$ обозначает редкую комбинацию нагрузок.

Комбинации нагрузок для предельных состояний, редко-, часто- и квази-постоянной нагрузок описаны в EN 1990:2002:

$$F_{d,u} = \sum \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_{Q1} * Q_{k,1} + + \sum \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad (7)$$

$$F_{d,r} = \sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad (8)$$

$$F_{d,f} = \sum G_{k,j} + \psi_{1,1} * Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} * Q_{k,i} \quad (9)$$

$$F_{d,p} = \sum G_{k,j} + \sum \psi_{2,i} * Q_{k,i} \quad (10)$$

где,

G_k и Q_k - характерные значения постоянных и переменных нагрузок

ψ_0 - коэффициент комбинации для значений по предельным состояниям переменных воздействий

ψ_1 - коэффициент комбинация для частых значений переменных воздействий

ψ_2 - коэффициент комбинация для квази-постоянных значений переменных воздействий

γ-метод

При использовании гамма метода должны удовлетворяться следующие требования EN 1995-1-1 (2002) [8]:

1. Шарнирно опертые балки пролетом l. Для неразрезных балок и консолей пролет l должен быть умножен на соответствующие коэффициенты:

- l=0,8*l для неразрезных балок
- l=2*l для консолей

2. Отдельные деревянные части выполнены либо цельными, либо клееными стыковыми соединениями.

3. Отдельные элементы соединены при помощи механических крепежей с модулем скольжения K.

4. Расстояние «s» между крепежными устройствами является постоянным либо изменяется в зависимости от срезающей силы между S_{min} с S_{max} и $S_{max} \leq 4 S_{min}$.

5. Нагрузка действует в направлении оси Z в результате чего момент $M=M(x)$ варьируется между синусоидальной и параболической формой, а скальвающая сила $V=V(x)$.

Удовлетворив перечисленные допущения, эффективная балочная жесткость на изгиб может быть посчитана как:

$$(EI)_{eff} = \sum_{i=1} (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2) \quad (11)$$

где,

E_i - модуль упругости i-го субэлемента;

$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$ - момент инерции сечения i-го субэлемента;

$A_i = b_i h_i$ - площадь поперечного сечения i-го субэлемента;

$\gamma_i = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_i A_i S_i}{K_i l^2}}$ - параметр, описывающий

композитные действия (i=1 и i=3);

$\gamma_2 = 1$ - расстояние от центра тяжести i-го суб-элемента до нейтрального слоя композитного сечения.

Рисунок 2 показывает субэлементы и поверхности взаимодействия составного сечения. При подсчете жесткости элемента при изгибе (11) можно вычислить нагрузку воздействующую на

соединительные элементы в поперечном сечении, нормальные напряжения в результате сжатия , растяжения и изгиба из уравнений (12-14).

$$\sigma_i = \frac{\gamma_i E_i \alpha_i M}{(EI)_{eff}} \quad (12)$$

$$\sigma_i = \frac{0,5 E_i h_i M}{(EI)_{eff}} \quad (13)$$

$$F_i = \frac{\gamma_i E_i \alpha_i S_i}{(EI)_{eff}} V \quad (\text{для } i = 1 \text{ и } i = 3) \quad (14)$$

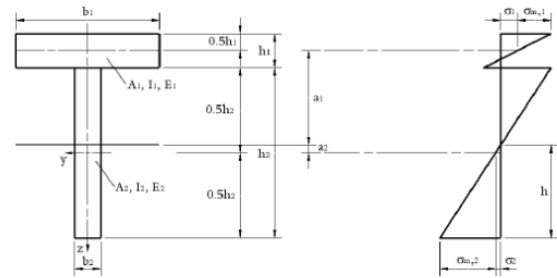


Рис.2. Конфигурация составного сечения согласно EN 1995-1-1 (2002) / Cross-section of a timber-concrete composite T-beam according to EN 1995-1-1 (2002).

Прогиб рассчитывается путем замены жесткости при изгибе в стандартных выражениях на вычисленную эффективную жесткости при изгибе.

В этом случае уравнение 11 для композитной балки, изображенной на рисунке 1 (3), примет вид:

$$(EI)_{eff} = E_1 I_1 + \gamma E_1 I_1 a_1^2 + E_2 I_2 + \gamma E_2 I_2 a_2^2 \quad (15)$$

где индекс 1 соответствует бетонному субэлементу, 2 – деревянному. γ и a определяются по выражениям (16-18):

$$\gamma_1 = \gamma_i = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_i A_i S_i}{K_i l^2}} \quad (16)$$

$$a_2 = \frac{\gamma E_1 A_1 (h_1 + h_2)}{2(\gamma E_1 A_1 + E_2 A_2)} \quad (17)$$

$$a_1 = \frac{h_t + h_c}{2} - a_2 \quad (18)$$

Нагрузка в соединительных элементах и нормальное напряжение вычисляется по формулам 12-14.

Упрощенный подход Гирхаммара

В подходе Гирхаммара применяются следующие допущения:

1. Соединительные элементы равномерно расположены и обеспечивают равномерное распределение сдвигающей силы при постоянном модуле скольжения K.

2. Ось X расположена в центре тяжести составного сечения. Перемещения в направлениях X и Z обозначаются U и W соответственно.

Удовлетворив данные допущения, изгибная жесткость сечения может быть вычислена по формуле:

$$EI_{eff} = \frac{\mu_{\infty}^2}{\mu^2} \left[1 + \frac{\frac{EI_{\infty}}{EI_0} - 1}{1 + \left(\frac{\mu}{\pi}\right)^2 * (\alpha L)^2} \right] * EI_{\infty} \quad (19)$$

μ - приведенная длины для частично композитной балки

μ_{∞} - приведенная длина для полностью композитной балки

$$\alpha L = \sqrt{\frac{Kr^2}{EI_0(1-\frac{EI_0}{EI_{\infty}})}} L$$

безразмерный параметр

соединительного элемента;

$EI_0 = E_1I_1 + E_2I_2$ - жесткость на изгиб соответствующая несоставному сечению;

$EI_{\infty} = EI_0 + \frac{EA_p r^2}{EA_0}$ - жесткость на изгиб соответствующая составному сечению, где r -расстояние между центрами тяжести суб-элементов.

$EA_0 = E_1A_1 + E_2A_2$ - сумма осевой жесткости каждого субэлемента;

$EA_p = E_1A_1 * E_2A_2$ - произведение осевой жесткости каждого субэлемента;

Так как μ и μ_{∞} практически равны, то уравнение (19) примет вид:

$$EI_{eff} = \left[1 + \frac{\frac{EI_{\infty}}{EI_0} - 1}{1 + \left(\frac{\mu}{\pi}\right)^2 * (\alpha L)^2} \right]^{-1} * EI_{\infty} \quad (20)$$

После нахождения эффективной жесткости на изгиб внутренне воздействия могут быть получены из уравнений 21-25, как и прежде r -расстояние между центрами тяжести субэлементов, r_i - расстояние между центрами тяжести субэлемента и нейтральным слоем сечения.

$$N_{1,eff} = - \left(1 - \frac{EI_0}{EI_{eff}} \right) \frac{M}{r} \quad (21)$$

$$N_{2,eff} = - \left(1 - \frac{EI_0}{EI_{eff}} \right) \frac{M}{r} \quad (22)$$

$$M_{i,eff} = \pm \frac{E_i I_i}{EI_{eff}} \frac{M}{r} \quad (23)$$

$$V_{s,eff} = \left(1 - \frac{EI_0}{EI_{eff}} \right) V \quad (24)$$

$$V_{i,eff} = \frac{E_i I_i}{EI_{eff}} V + V_{s,eff} r_i \quad (25)$$

$V_{s,eff}$ - относится к сдвигающей силе в промежуточном слое между субэлементами, в то время как $V_{i,eff}$ относится к сдвигающей силе, действующей на поперечные сечения субэлементов (рис. 3). Нагрузка на соединительный элемент может быть легко получена путем умножения межслойной сдвигающей силы на расстояние между

В отличие от предельных состояний первой группы, контроль по предельным состояниям второй группы осуществляются как контроль прогиба. Когда известна жесткость на изгиб составного перекрытия, прогиб может быть проверен с использованием стандартных уравнений, которые доступны в строительных справочниках.

соединительными элементами (26). Скольжение в промежуточном слое получают из (27):

$$F_{s,eff} = V_{s,eff} \quad (26)$$

$$\Delta_u = V_{s,eff} / K \quad (27)$$

Прогиб получается заменой эффективной жесткости при изгибе в стандартном уравнении на эффективную жесткость, на изгиб рассчитываемую в соответствии с уравнением 20 [7].

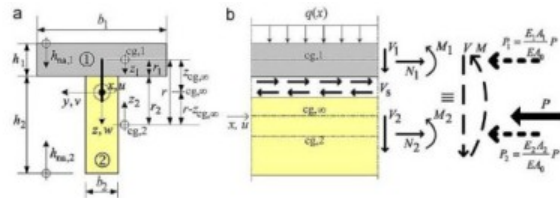


Рис. 3. Данные в упрощённом подходе Гирхаммар / Quantities used in Girhammar's simplified method

Комбинированный метод

Согласно γ -методу расчету включает в себя кратковременные и долговременные проверки. Долговременные модули могут быть определены по формулам (4-6). Коэффициент ползучести грунтобетона будет определен при помощи приложения В [9].

Расчет по группам предельных состояний представлен как расчет нормальных напряжений поперечного сечения, уравнения (1) и (2). Нормальные напряжения могут быть разделены на две составляющие: напряжения от изгиба (σ_m), напряжения от осевой нагрузки (σ_c и σ_t).

$$\sigma_c = -\sigma_t = \frac{N}{A} = \frac{N}{bh} \quad (28)$$

$$\sigma_m = \frac{M}{w} = \frac{6M}{bh^2} \quad (29)$$

M и N могут быть определены благодаря уравнением (21-23). Таким образом уравнения (1) и (2) примут вид:

$$f_{ccd} \geq \frac{M}{b_1 h_1} \left(\frac{\left(1 - \frac{EI_0}{EI_{eff}} \right)}{r} + \frac{6 * E_1 I_1}{h_1 * EI_{eff}} \right) \quad (30)$$

$$1 \geq \frac{M}{b_2 h_2} \left(\frac{\left(1 - \frac{EI_0}{EI_{eff}} \right)}{r * f_{ttm}} + \frac{6 * E_2 I_2}{h_2 * EI_{eff} * f_{ttm}} \right) \quad (31)$$

Соединительные элементы могут быть просчитаны благодаря комбинации выражение (24) и (26):

$$\left(1 - \frac{EI_0}{EI_{eff}} \right) * \frac{s}{r} * V_d \leq F_{max} \quad (32)$$

Кратковременная и долговременная нагрузки проводятся в соответствии с разделом, рассмотренным выше. При расчёте будет использован упрощенный подход Гирхаммара.

Взяв за основу комбинированный подход для расчета деревогрунтобетонного перекрытия, задавшись геометрическими характеристиками

сечения (рис. 4), а также физико-механическими характеристиками используемых материалов [11, 12], нам удалось установить, что допускаемый пролет балки может достигать 4,5 м. Ниже приведены

данные исследований [13] для балки пролетом 4,5 м со значениями характеристических нагрузок $Q_k=2$ кН/м²; $F_k=2$ кН равномерно распределенной и сосредоточенной соответственно, согласно [5] для жилых зданий (таб. 1).

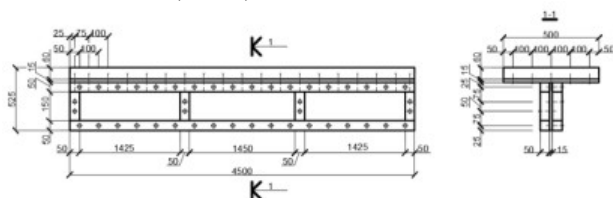


Рис. 4. Геометрические характеристики деревогрунтобетонной балки / The geometric characteristics of the timber-soil concrete beam

Таблица 1.

Результаты исследований / The results of the research

	Расчетные показатели
M_{max} , кН*м	8.65
Q_{max} , кН	7.2
σ_c , МПа	2.03

с несъемной опалубкой из OSB.

Выводы

1. Предложена новая инженерная методика расчёта деревогрунтобетонного перекрытия основанная на синтезировании упрощенного метода Гирхаммара и γ -метода.

$\sigma_{m,c}$, МПа	0.2
σ_t , МПа	0.21
σ_{mt} , МПа	1.16
F_{max} , кН	2.5

M_{max} – максимальный изгибающий момент, кН*м;
 Q_{max} – максимальная поперечная сила, кН*м;
 σ_c – максимальное напряжение в сжатой зоне грунтобетонной плиты, МПа;

$\sigma_{m,c}$ – максимальное напряжение в растянутой зоне грунтобетонной плиты, МПа;

σ_t – максимальное напряжение в сжатой зоне составной деревянной балки, МПа;

σ_{mt} – максимальное напряжение в растянутой зоне составной деревянной балки, МПа;

F_{max} , срезающая сила действующая на соединительные элементы, кН.

Научная новизна научная новизна и практическая значимость

Получили дальнейшее развитие представления о комбинированном методе проектирования конструкции деревогрунтобетонного перекрытия. Разработка инженерной методики расчета составной деревогрунтобетонной балки со стенкой из OSB, нагельными соединениями поясов со стенкой и грунтобетонной плиты

2. На основании предложенного метода произведен расчет деревогрунтобетонной балки с заранее подобранными геометрическими и физическими характеристиками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вдовин, Е. А. Повышение качества местных укрепленных грунтов путем регулирования гранулометрического состава / Е. А. Вдовин, Л. Ф. Мавлиев // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – Казань, 2011. – Вып. 4. – С. 219-223.
2. Галузеві будівельні норми України ГБН В. 2.3. – 37641918-554:2013. Автомобільні дороги. Шари дорожнього одягу з кам'яних матеріалів, відходів промисловості і ґрунтів, укріплених цементом. Проектування та будівництво. – На заміну ВБН В.2.3-218-002-95 ; надано чинності 2013-11-01. – Київ : Державне агентство автомобільних доріг України (Укравтодор), 2013. – 43 с.
3. 3. Факторы, влияющие на качество грунтобетонов / Н. В. Савицкий, М. А. Елисеєва, Н. В. Новиченко, Е. А. Бардах // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 81. – С. 177-184.
4. Savytskyi M. V., Yeliseieva M. O., Novychenko N. V., Bardakh O.E. Faktory, vliayushchiye na kachestvo gruntobetonov [The factors influencing on the soil-concretes quality]. Stroitelstvo, materialovedeniye,
5. mashinostroyeniye [Construction, materials, mechanical engineering], 2015, issue 81, pp. 177-184.
6. 4. Прочность грунтобетонов в зависимости от состава смеси / Н. В. Савицкий, М. А. Елисеєва, Г. И. Кузьмин, Н. В. Новиченко, Е. А. Бардах, Е. О. Евсеев // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 82. – С. 179-186.
7. 5. Конструкции деревогрунтобетонных перекрытий для малоэтажных деревянных зданий / Н. В. Савицкий, Т. Д. Никифорова, И. И. Перегинец, Г. И. Кузьмин // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 81. – С. 198-203.

8. Savytskyi M. V., Nikiforova T. D., Pereginets I. I., Kuzmin H. I. Konstruktsiyi derevogruntobetonnyh perekrytiy dlya maloetazhnyh zdaniy [Structure of timber-soil composite floors for low rise woden buildings]. Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye [Construction, materials, mechanical engineering], 2015, issue 81, pp. 198-203.
9. 6. Синцов В. П. Составная деревянная балка со стенкой из OSB для малоэтажных каркасных зданий / В. П. Синцов // Prospero. – Москва, 2015. – Вып. 4. – С. 25-30.
10. 7. Manaridis A. Evaluating of timber-concrete composite floors: master thesis/ Andreas Manaridis. – L: Lund Universitet, 2011. – 6-16 pp.
11. http://www.kstr.lth.se/fileadmin/kstr/pdf_files/Exjobb/TVBK-5000_pdf/TVBK-5187AMweb.pdf
12. 8. EN 1995-1-1 :2004+A 1 :2008 (E), Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General-Common rules and rules for buildings.
13. 9. EN 1992-1-1:2004 (E), Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1 : General rules and rules for buildings
14. 10. Smith I. Design Method for Connections in Engineered Wood Structures/ Ian Smith, Andi Asiz, Monica Snow/ Faculty of Forestry and Environmental Management University of New Brunswick, Fredericton, 2006. - 80 p.
15. 11. EN 300:2006. Oriented Strand Boards (OSB) - Definitions, classification and specifications [Текст]. - London: British Standards Institution, 2006. – 24 p. – ISBN 0-580-49105-6.
16. 12. Oriented Strand Board in Wood Frame Construction. Structural Board Association./ Representing the OSB Industry / U.S. Edition, 2005. 34 p
17. 13. Costa L. Evaluating of timber-concrete composite floors: thesis Ph. D./ Luca Costa. – L: Lund Universitet, 2011. 56-57 pp

REFERENCES

1. Vdovin Ye.A., Mavliyev L.F. Povysheniye kachestva mestnykh ukreplennykh gruntov putem regulirovaniya granulometricheskogo sostava [Enhancement of the local stabilized soils by force of grain-size composition regulation]. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Proceedings of the Kazansk State University of Civil Engineering and Architecture
2. HBN V. 2.3. – 37641918 – 554:2013. Avtomobilni dorohy. Shary dorozhnoho odiahu z kamianykh materialiv, vidkhodiv promyslovosti i gruntiv, ukriplenykh tsementom. Proektuvannia ta budivnytstvo. [Sectoral construction standards 2.3. – 37641918–554–2013. Motor roads. Road pavement layers of stone materials, industrial waste and soils reinforced with cement. Designing and construction]. Kyiv, Derzhavne ahentstvo avtomobilnykh dorih Ukrainy (Ukravtodor) Publ., 2013. 43 p.
3. 3. Savytskyi M. V., Yelisiyeva M. O., Novychenko N. V., Bardakh O.E. Faktory, vliayushchiye na kachestvo gruntobetonov [The factors influencing on the soil-concretes quality]. Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye [Construction, materials, mechanical engineering], 2015, issue 81, pp. 177-184.
4. 4. Savytskyi M. V., Yelisiyeva M. O., Kuzmin H. I., Novychenko N. V., Bardakh O.E., Evseev Ye.O. Prochnost gruntobetonov v zavisimosti ot sostava smesi [Strength of the soil-concrete in depending on mixture]. Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye [Construction, materials, mechanical engineering], 2015, issue 82, pp. 179-186.
6. 5. Savytskyi M. V., Nikiforova T. D., Pereginets I. I., Kuzmin H. I. Konstruktsiyi derevogruntobetonnyh perekrytiy dlya maloetazhnyh zdaniy [Structure of timber-soil composite floors for low rise woden buildings]. Stroitelstvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye [Construction, materials, mechanical engineering], 2015, issue 81, pp. 198-203.
7. 6. Sintsov V. P. Sostavnay dereviannaya blaka so stenкой OSB dlya maloetazhnyh karkasnyh zdaniy [Composite timber beam with OSB web for low-rise frame buildings]. Prospero, 2015, issue 4, pp. 25-30.
8. 7. Manaridis A. Evaluating of timber-concrete composite floors: master thesis/ Andreas Manaridis. – L: Lund Universitet, 2011. – 6-16 pp.
9. http://www.kstr.lth.se/fileadmin/kstr/pdf_files/Exjobb/TVBK-5000_pdf/TVBK-5187AMweb.pdf
10. 8. EN 1995-1-1 :2004+A 1 :2008 (E), Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General-Common rules and rules for buildings.
11. 9. EN 1992-1-1:2004 (E), Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1 : General rules and rules for buildings
12. 10. Smith I. Design Method for Connections in Engineered Wood Structures/ Ian Smith, Andi Asiz, Monica Snow/ Faculty of Forestry and Environmental Management University of New Brunswick, Fredericton, 2006. - 80 p.
13. 11. EN 300:2006. Oriented Strand Boards (OSB) - Definitions, classification and specifications [Текст]. - London: British Standards Institution, 2006. – 24 p. – ISBN 0-580-49105-6.
14. 12. Oriented Strand Board in Wood Frame Construction. Structural Board Association./ Representing the OSB Industry / U.S. Edition, 2005. 34 p
15. 13. Costa L. Evaluating of timber-concrete composite floors: thesis Ph. D./ Luca Costa. – L: Lund Universitet, 2011. 56-57 pp

Статья поступила в редколлегию 10.05.2016