

УДК 681.3.06:624.131

WEB-СЕРВИС АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ФУНДАМЕНТОВ

А.В. Глубоков, М.И. Жадан, Е.М. Березовская

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

WEB SERVICE OF THE AUTOMATED DESIGN AND CALCULATION OF THE BASES

A.V. Glubokov, M.I. Zhadan, E.M. Berezovskaya

F. Scorina Gomel State University

Статья посвящена автоматизированному проектированию и расчету различных типов фундаментов мелкого заложения. Учитывается изменение под нагрузкой физико-механических характеристик грунтов оснований. Созданное приложение позволяет производить расчеты согласно нормам и правилам СНиП. Для написания web-сервиса использованы фреймворк Spring и архитектурный стиль программирования REST. Взаимодействие пользователя с web-сервисом реализовано через клиентское приложение на основе технологии JavaFX.

Ключевые слова: фундамент, грунт, слои, уровни, здания и сооружения, нагрузки, диагностика, отчет, проектирование.

The automated design and calculation of various types of the bases of a small depth are presented. The change under loading of physicomachanical characteristics of soil of the bases is considered. The created application allows making calculations, according to the norms and rules of Construction Norms and Regulations. For writing of web service the framework of Spring and architectural style of programming of REST are used. Interaction of the user with web service is realized through the client application on the basis of the JavaFX technology.

Keywords: base, soil, layers, levels, buildings and constructions, loadings, diagnostics, report, design.

Введение

Строительство любого объекта всегда начинается с устройства фундамента. Застройщикам важно не только определиться с типом фундамента, но и выполнить расчеты всех его технических характеристик, влияющих на разработку конструктивных решений, учитывая многообразие структуры и свойств грунтов Беларуси. В наши дни сфера строительства стала областью, где активно используются высокотехнологичные достижения. Сегодня выполнение проектных работ трудно представить без применения компьютеров: необходимо самое современное и специализированное программное обеспечение. Существует ограниченное число программ для упрощения этого процесса, да и те, которые существуют, распространяются по коммерческой лицензии и неоправданно дорого.

Целью рассматриваемого программного инструментария является разработка web-сервиса и клиентского приложения для автоматизированного проектирования и расчёта оснований и фундаментов в зависимости от типа грунта с интуитивно понятным и дружелюбным интерфейсом для пользователя. Преимуществом такого представления является тот факт, что клиенты не зависят от конкретной операционной системы и удовлетворяются требованиям надежности и целостности данных. При реализации web-сервиса использованы технологии REST [1], Spring Framework [2]. Для взаимодействия пользователя

с web-сервисом создано отдельное клиентское приложение на основе технологии JavaFX [3].

1 Проектирование и разработка приложения

Приложение ориентировано на инженеров проектировщиков, конструкторов проектных институтов, мастеров и производителей работ на строительных участках, работников экспертных служб. Оно охватывает максимально широкий спектр задач, просто в работе и требует минимум исходной информации, вводя недостающие данные из минимально необходимых, действуя при этом в запас прочности, но не более 5–10%. Приложение имеет целью решение конкретных производственных задач, встающих перед пользователями определенного выше круга. Оно решает эти задачи во всей широте возможных в реальных условиях конструкций и материалов [4], [5].

В приложении реализованы функции для проектирования отдельно стоящих фундаментов под колонны каркасных зданий на естественном основании, проектирование ленточных фундаментов под стены бескаркасных зданий на естественном основании. Благодаря этому можно надежно и быстро произвести комплексную оценку характеристик всех приемлемых вариантов основания для любых зданий и сооружений. Приложение позволяет учитывать свойства несущего грунта, его особенности в условиях планируемой эксплуатации; полученные характеристики

можно легко сопоставить с нагрузкой от проектируемых зданий. В настоящее время в приложении реализованы расчеты ТКП 45-5.01-254-2012 «Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения», ТКП 45-5.01-67-2007 «Фундаменты плитные. Правила проектирования». Имеется ряд востребованных расчетов, не входящих в СНиП.

Приложение позволяет определять размеры подошвы ленточных, столбчатых фундаментов. Жесткие фундаменты рассчитываются только на восприятие напряжений сжатия. Гибкие фундаменты работают на изгиб и дополнительно рассчитываются на восприятие растягивающих, поперечных усилий и на продавливание (срез) по СНБ 5.03.01. Размеры подошвы фундамента определяются в зависимости от нагрузок относительно его оси и характера эпюры контактных давлений [4]. Осадка фундамента определяется методом послойного суммирования с использованием расчетной схемы линейно-деформированного полупространства, ограниченного условной глубиной сжимаемой толщи [5].

Предлагаемый программный продукт позволяет решать «обратную задачу», т. е. проверить по зданию пользователя размеры и армирование плитной части фундамента. Автоматически проверяется давление на кровлю грунта слабого слоя, в случае его недопустимости производится увеличение размеров подошвы.

Для эффективной работы с программной системой необходимо подготовить предварительно ряд соответствующих проектных материалов: план и разрез здания, нагрузки, материалы инженерно-геологических изысканий на площадке строительства, варианты отметок подошвы фундаментов.

Исходные данные сведены в логические группы-таблицы: материалы, грунты и отметки, нагрузки, ограничения, задание для проверки.

2 Основные возможности web-сервиса

При запуске приложения пользователь увидит главное меню, изображенное на рисунке 2.1 [6].

В левом столбце содержатся необходимые справочные материалы для расчётов: предельные деформации оснований, расчетные сопротивления грунтов оснований, характеристики грунтов, коэффициенты условий работы. В правой части главного меню представлены расчёты для фундаментов: осадка фундамента и предельное давление при расчете деформаций.

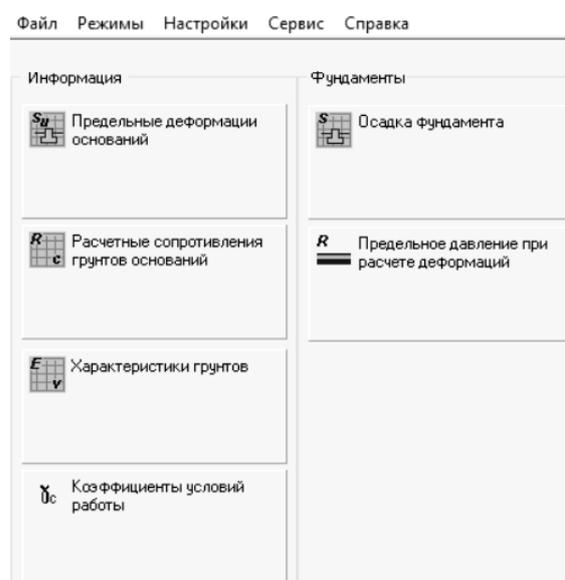


Рисунок 2.1 – Главное меню

Сооружения	Относительная разность осадок (Ds/L)	Крен	Средняя (в скобках максимальная) осадка, см
1. Производственные и гражданские одноэтажные и многоэтажные здания с полным каркасом:			
железобетонным	0,002		(8)
стальным	0,004	-	(12)
2. Здания и сооружения, в конструкциях которых не возникают усилия от неравномерных осадок			
3. Многоэтажные бескаркасные здания с несущими стенами из:			
крупных панелей	0,0016	0,005	10
крупных блоков или кирпичной кладки без армирования	0,0020	0,005	10
то же, с армированием, в том числе с устройством железобетонных поясов	0,0024	0,005	15
4. Сооружение элеваторов из железобетонных конструкций:			
рабочее здание и силосный корпус монолитной конструкции на одной фундаментной плите	-	0,003	40
то же, сборной конструкции	-	0,003	30

Примечания:
 1. Предельные значения относительного прогиба зданий, указанных в поз. 3, принимают равными 0.5(Ds/L)
 2. При определении относительной разности осадок (Ds/L) поз. 8 настоящего приложения за L принимают расстояние между осями блоков фундаментов в направлении горизонтальных нагрузок, а в опорах с оттяжками — расстояние между осями сжатого фундамента и анкера.
 3. Если основание сложено горизонтальными (с уклоном не более 0,1), выдержанными по толщине слоями грунтов, предельные значения максимальных и средних осадок допускается увеличивать на 20 %.

Рисунок 2.2 – Предельная деформация основания

Крупнообломочные грунты		Пески	Глинистые (непросадочные) грунты		Глинистые просадочные грунты
Заторфованные пески		Элювиальные крупнообломочные грунты		Элювиальные пески	
Элювиальные глинистые грунты		Насыпные грунты		Грунты обратной засыпки	
Грунты	Коэффициент пористости e	Расчетное сопротивление R_0 , МПа, при показателе текучести IL , равном			
		$IL = 0$	$IL = 1$		
Супеси	0.5	0.3	0.25		
	0.7	0.25	0.2		
Суглинки	0.5	0.3	0.25		
	0.7	0.25	0.18		
	0.9	0.2	0.13		
	1.1	0.15	0.1		
Глины	0.6	0.5	0.3		
	0.8	0.3	0.2		
	1.1	0.25	0.15		
	1.25	0.2	0.1		

Примечание — Приведенные значения R_0 относятся к элювиальным глинистым слабоструктурным грунтам, образованным при выветривании магматических пород. Для глинистых аргиллито-алевролитовых грунтов значения R_0 принимают с коэффициентом 0,9.

Рисунок 2.3 – Значения условного расчетного сопротивления грунтов

Пески четвертичных отложений		Глинистые нелёссовые грунты четвертичных отложений			
Пески	Характеристики грунтов	Характеристики грунтов при коэффициенте пористости e , равном			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Гравелистые и крупные	удельное сцепление, кПа	2	1	–	–
	угол внутреннего трения, град	43	40	38	–
	модуль деформации, МПа	50	40	30	–
Средней крупности	удельное сцепление, кПа	3	2	1	–
	угол внутреннего трения, град	40	38	35	–
	модуль деформации, МПа	50	40	30	–
Мелкие	удельное сцепление, кПа	6	4	2	–
	угол внутреннего трения, град	38	36	32	28
	модуль деформации, МПа	48	38	28	18
Пылеватые	удельное сцепление, кПа	8	6	4	2
	угол внутреннего трения, град	36	34	30	26
	модуль деформации, МПа	39	28	18	11

Рисунок 2.4 – Характеристики грунтов

Для дальнейшей работы с приложением пользователь должен выбрать пункт из раздела «Информация» или «Фундаменты».

В разделе «Информация» содержится вся сопутствующая информация для расчётов и работы с программой. На рисунке 2.2 приведена информация о предельной деформации основания.

Здесь приведены предельные допустимые осадки оснований и фундаментов, относительная разность осадков, крен.

Имеется возможность получить информацию о значениях расчётного сопротивления и расчётного модуля деформации для разных видов грунтов, коэффициенты условий работы,

которые используются при определении расчетного сопротивления грунта (рисунок 2.3). К каждой таблице дано примечание, которое поясняет информацию, содержащуюся в таблице. Информация из этих таблиц используется для определения первоначальных размеров фундаментов.

На рисунке 2.4 показаны таблицы, в которых содержатся нормативные значения удельного сцепления, угла внутреннего трения и модуля деформации для различных видов грунтов. Для песчаных грунтов характеристики представлены для различного коэффициента пористости. Для глинистых грунтов характеристики представлены в зависимости от коэффициента пористости и показателя текучести грунта.

На рисунке 2.5 показана таблица коэффициентов условий работы. В данной таблице приведены коэффициенты работы основания и фундамента. Один коэффициент зависит от типа грунта, второй от типа грунта и конструктивной схемы здания. Эти данные используются при определении расчетного сопротивления грунта.

Имеется примечание к этой таблице, в нём содержится правила определения второго коэффициента в зависимости от жесткой или гибкой конструктивной схемы, а также от соотношения длины здания к его высоте.

Коэффициенты условий работы			
Грунты	Коэффициент $Gc1$	Коэффициент $Gc2$ для сооружений с жесткой конструктивной схемой при отношении длины сооружения или его отсека к высоте L/H , равном	
		4 и более	1,5 и менее
Крупнообломочные с песчаным заполнителем и пески, кроме мелких и пылеватых	1.4	1.2	1.4
Пески мелкие	1.3	1.1	1.3
Пески пылеватые:			
маловлажные и влажные	1.25	1	1.2
насыщенные водой	1.1	1	1.2
Глинистые, а также крупнообломочные с глинистым заполнителем с показателем текучести грунта или заполнителя $IL \leq 0,25$	1.25	1	1.1
То же, при $0,25 < IL \leq 0,5$	1.2	1	1.1
То же, при $IL > 0,5$	1.1	1	1

- Примечания:
1. К сооружениям с жесткой конструктивной схемой относят сооружения, конструкции которых специально приспособлены к восприятию усилий от деформации оснований
 2. Для зданий с гибкой конструктивной схемой значение коэффициента $Gc2$ принимают равным единице.
 3. При промежуточных значениях L/H коэффициент $Gc2$ определяют интерполяцией.
 4. Для рыхлых песков $Gc1$, и $Gc2$ принимают равными единице.

Рисунок 2.5 – Коэффициенты условий работы

Общие данные
Нагрузки на пол
Грунты

Глубина заложения подошвы фундамента от уровня планировки, H м

Глубина заложения подошвы фундамента относительно естественного рельефа, H_z м

Предельная величина деформации фундамента мм

Наличие подвала

Колонна среднего ряда Колонна крайнего ряда

Соседние фундаменты

	Координаты центра		Размеры подошвы		Усилия
	X	Y	A	B	
	м	м	м	м	T
1	0	11	5	6	231
2	0	-11	5	6	342

+ Добавить X Удалить

Рассматриваемый фундамент

Координаты центра		Размеры подошвы		Продольная сила
X	Y	A	B	
м	м	м	м	T
0	0	5	6	356

Меню
φ Вычислить

Рисунок 2.6 – Осадка фундамента

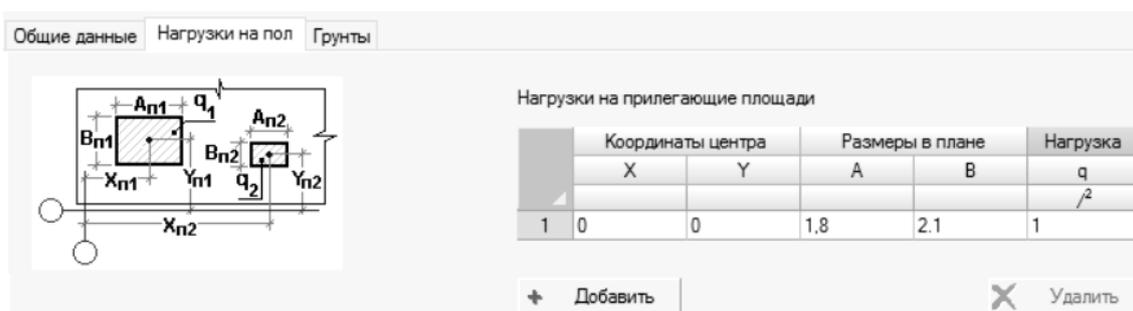


Рисунок 2.7 – Нагрузка на пол

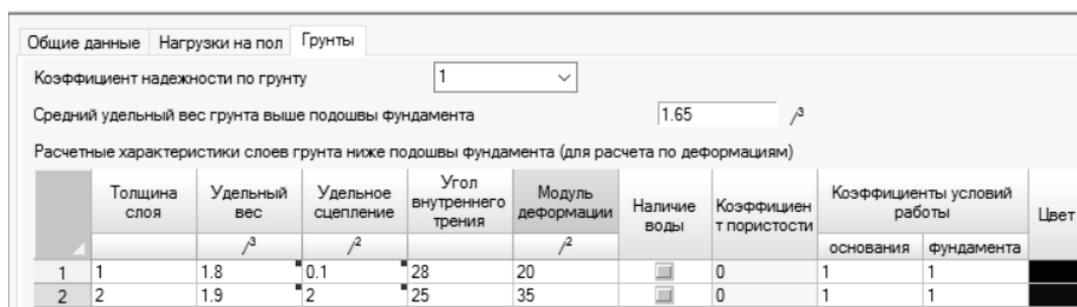


Рисунок 2.8 – Грунты

Проверка для уровня подошвы удовлетворена		
Расчетное сопротивление грунта в уровне подошвы фундамента	23,1	Н/м ²
Среднее давление от нагрузок в уровне подошвы фундамента	19,8	Н/м ²
Осадка определена для основания в виде упругого полупространства		
Осадка основания	5	м
Просадка от нагрузки	0	м
Просадка от веса грунта	0	м
Сумма осадки и просадки	5	м
Глубина сжимаемой толщи	4,1	м
Винклеровский коэффициент постели	2,4	Н/м ³
Осадка больше допустимой		

Рисунок 2.9 – Результаты расчетов

В разделе «Фундаменты» содержится основной функционал программы. Здесь, при выборе соответствующего пункта, производится расчёт оснований плитных фундаментов по деформациям. Целью расчёта по деформациям оснований является ограничение абсолютных или относительных перемещений фундаментов проектируемых сооружений, такими пределами, при которых гарантируется их нормальная эксплуатация и долговечность. Расчёт оснований по деформации производится из условия совместной работы сооружения и основания. В результате расчёта определяется осадка фундамента, т. е. вертикальное смещение основания фундамента в результате уплотнения под действием внешних нагрузок, воздействий и собственного веса грунта, не сопровождающегося коренным изменением его структуры. На рисунке 2.6 показана форма заполнения основных данных для расчёта осадки фундамента. Указывается глубина заложения подошвы фундамента от уровня планировки, глубина заложения подошвы фундамента относительно естественного предела, его предельная деформация, наличие подвала.

Далее заполняются размеры подошвы фундамента и на вкладке «Нагрузка» указывается нагрузка, действующая на пол (рисунок 2.7).

На этой форме пользователь задаёт координаты центра приложения нагрузки, размеры действия нагрузки в плане и значение действующей нагрузки. При наличии нескольких нагрузок имеется возможность учитывать действия нескольких нагрузок при помощи добавления их в таблицу. Заполнение и изменение происходит так же, как и на вкладке «Общие данные».

На вкладке «Грунты» (рисунок 2.8) описываются последовательные слои грунтов, расположенные ниже подошвы фундамента. Указывается толщина слоя. Для каждого слоя вводятся характеристики. Есть возможность учета наличия грунтовых вод. После заполнения данных на всех вкладках переходят к расчёту (рисунок 2.9).

В разделе «Фундаменты» имеется возможность вычисления расчётного сопротивления грунта основания. Для этого необходимо задать размеры фундамента, объёмный вес грунта выше уровня подошвы, ниже уровня подошвы, удельное сцепление грунта, угол внутреннего трения,

Рисунок 2.10 – Определение расчетного сопротивления грунта

удельный вес грунта, залегающий ниже подошвы фундамента. Задаются коэффициенты условия работы грунта. Имеется возможность определения расчетного сопротивления грунта основания с учётом подвала, где указывается его глубина, толщина конструкции пола и расчетное значение удельного веса конструкции пола подвала. Коэффициенты условия работы выбираются из таблиц, описанных в разделе «Информация» (рисунок 2.10).

Диагностика входных данных имеет несколько уровней. Основным является уровень ввода исходных данных. По каждому случаю нарушений выдается соответствующее сообщение.

Результаты расчета оформляются в представительский отчет, в формате HTML, со всеми эпюрами, шапками и картинками. Формирование отчетов полностью автоматическое.

Заключение

Разработано приложение для проектирования различных типов оснований и фундаментов мелкого заложения, учитывается изменение под нагрузкой физико-механических характеристик грунтов оснований. Приложение дает возможность проверить по зданию пользователя размеры плитной части фундамента, а также произвести расчёт фундаментов по деформации. В web-сервисе реализована возможность определения расчетного сопротивления грунта основания. Все расчеты выполнены согласно нормам и правилам СНиП. Для написания web-сервиса использованы технологии REST, Spring Framework. Взаимодействие пользователя с web-сервисом реализовано через клиентское приложение на основе технологии JavaFX. Приложение развернуто на

сервере предприятия ОАО «Гипроживмаш» [7] и используется в его производственном процессе для выполнения нужд предприятия в области расчётов оснований и фундаментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Webber, J.* REST in Practice / J. Webber – Издательство: O'Reilly Media, 2010. – 448 с.
2. *Mak, G.* Spring Recipes: A problem-Solution Approach / G. Mak. – Издательство: Apress, Inc., 2010. – 571 с.
3. *Машнин, Т.* JavaFX 2.0. Разработка RIA-приложений / Т. Машнин. – Издательство: БХВ-Петербург, 2012. – 320 с.
4. *Берлинов, М.В.* Примеры расчёта оснований и фундаментов / М.В. Берлинов, Б.А. Ягупов. – М.: «Москва стройиздат», 1986. – 172 с.
5. *Кальницкий, А.А.* Расчет и конструирование железобетонных фундаментов гражданских и промышленных зданий и сооружений / А.А. Кальницкий, Л.М. Пешковский. – М.: «Высшая школа», 1974. – 256 с.
6. *Глубоков, А.В.* Проектирование и разработка web-сервиса по автоматизированному проектированию оснований и фундаментов / А.В. Глубоков, М.И. Жадан // Творчество молодых' 2017. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины. – 2017. – Ч. 1. – С. 204–207.
7. *Левчук, Е.А.* Анализ предложений и разработка рекомендаций по выбору хостинга для размещения сайтов организаций Белкоопсоюза / Е.А. Левчук // Проблемы и перспективы электронного бизнеса: сб. ст. межд. научно-практич. конф.; редкол.: С.Н. Лебедева [и др.]; под ред. А.Н. Семенюты. – 2017. – С. 83–86.

Поступила в редакцию 14.12.18.