

Р.Е. Лукпанов¹, С.Б. Енкебаев¹, Д.К. Оразова², І.Т. Жұмаділов^{3*}

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан
010008, Республика Казахстан, г. Нур-Султан, ул.Сатпаева, 2

²Торайгыров университет
140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64

³Университет имени Шакарима города Семей
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки 20 А
e-mail: f001.kz@mail.ru

РАСЧЕТ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В СЛОЖНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ Г. НУР-СУЛТАН В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ PLAXIS 2D

Аннотация: Материалы данной статьи ориентированы на студентов и магистрантов, направление изучений и исследований которых связаны с ветроэнергетическими установками (ВЭУ). В статье представлены расчеты оснований и фундаментов по предельным состояниям в программном комплексе Plaxis. Для сравнения были приняты несколько конструктивных решений: плитный и свайно-плитный фундаменты. Применение современных комплексных программ, основанных на методе конечных элементов, позволяют быстро производить расчеты ВЭУ, с достаточной степенью достоверности. Приведены особенности расчета фундаментных оснований под ветряные установки с учетом инженерно-геологических условий, а также спрогнозировано состояние несущей способности грунтовых оснований. Также статья отражает потребность в качественно проектируемых современных источниках альтернативной энергетики на территории Казахстана, а также о аспектах правильности выбора и расчета для таких сооружений фундаментов.

Ключевые слова: свая, Plaxis, грунт, ветряки, расчетное сопротивление грунта.

Расчетная схема ветроэнергетической установки (ВЭУ) представлена на рисунке 1, основные расчетные параметры в таблице 1.

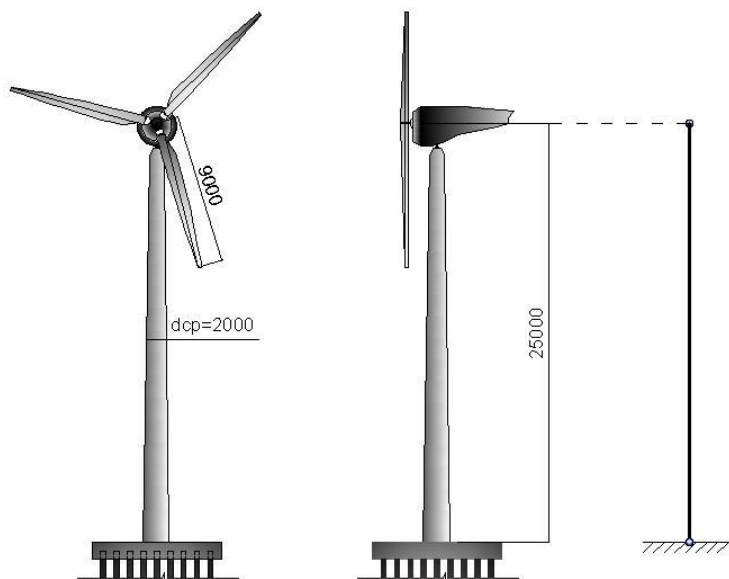


Рисунок 1 – Расчетная схема ВЭУ

Максимальных усилия у основания ВЭУ: $M_{\max} = 941 \text{ кНм}$; $N_{\max} = 120,3 \text{ кН}$ (ручным расчетом при определении массы башни $m_b = 12,3 \text{ т} = 120,6 \text{ кН}$); $Q_{\max} = 57,25 \text{ кН}$.

Инженерно-геологические условия площадки строительства (усредненные по г.Астана) ИГЭ 3 – аллювиальные среднечетвертичные отложения $a(Q_{ii-iv})$, представленные в виде гравелистых песков (ИГЭ-3б) и песчано-гравийных отложений (ИГЭ-3в). ИГЭ 4 – элювиальные образования коры выветривания $e(C_1)$, представленные в виде глинистых и суглинистых грунтов от зеленовато-коричневого до желтовато-коричневого цвета с включениями железа, марганца и детрита. ИГЭ 5 – элювиальные образования $e(C_1)$, представленные в виде дресвяно-щебенистых отложений, залегающих на глубине от 1,8 до 23,2 м, с мощностью слоя варьирующего от 1,7 до 9 м. ИГЭ 6 – осадочная порода, состоящая из глинисто-илистых крупнообломочных отложений, представленных в виде алевролита и аргиллита [1].

Таблица 1 – Физико-механические свойства ИГЭ

Параметры грунта	Инженерно-геологические элементы		
	ИГЭ 2	ИГЭ 3	ИГЭ 4
Влажность грунта, %	19,1 (10,2 - 27,7)	19-20	24,1 (11,7 - 37,4)
Предел текучести, %	30,0 (21,0-48,0)	-	39,0 (28,0-58,0)
Предел пластичности, %	18,0 (14,0-32,0)	-	27,0 (20,0-38,0)
Индекс текучести	0,09 (<0-1,0)	-	<0
Индекс пластичности	12,0 (7,0-16,0)	-	12,0 (8,0-20,0)
Плотность, г/см ³	1,98 (1,84-2,09)	1,92-2,00	2,00 (1,90-2,12)
Коэффициент пористости	0,63 (0,50-0,68)	0,41-0,7	0,70 (0,59-0,80)
Степень водонасыщения	0,74 (0,50-1,11)	-	0,96 (0,81-1,08)
Сцепление, кПа	15	2	27
Угол внутреннего трения,	22	35-38	29
Модуль упругости, МПа	7	17-23	10

Размеры подошвы определим для ИГЭ 2. Расчетное сопротивление суглинистых грунтов с индексом текучести 0,09 и коэффициентом пористости 0,63 принимаем равным 280 кПа [СНИП ОиФ].

Поскольку момент действует относительно одной главной оси инерции, то максимальные и минимальные значения краевого давления равны:

$$p_{max}^{min} = \frac{N_{II}}{A} \cdot \left(1 \mp \frac{6e}{l}\right) = \frac{N_{II}}{A} \cdot \left(1 \mp \frac{6N_{max}}{l \cdot M_{max}}\right)$$

Расчетное сопротивление R в частном случае представлен выражением: $R=1,25(11,84b+66,8+90,6)$ кПа, при различных значениях b-ширины фундамента.

После ряда итераций и приближений, исходя из расчета по сопротивлению грунта и его устойчивости, найдем удовлетворяющие размеры подошвы фундамента, с шириной $b=6,2$ м. Условие предотвращения отрыва подошвы фундамента от грунта стало решающим при расчете площади подошвы (в связи с большими значениями моментов относительно продольных сил):

$$1,2R = 1,2 \cdot 288,51 = 346,2 \text{ кПа}$$

$$P_{max} = 48,8 \text{ кПа} < 346,2 \text{ кПа}$$

$$P_{min} = 1,43 > 0 \text{ – условие предотвращения отрыва подошвы}$$

Граничные условия стенок модели были заданы в виде шарнирно-подвижных опор со свободным перемещением по оси y, перемещение по оси x = 0. Основание модели задано в виде сплошной заделки, перемещение по осям x, y = 0. В программном комплексе Plaxis данный вид граничных условий задается автоматически, поскольку подходит для решения большинства геотехнических задач.

До начала расчета были определены начальные условия, к которым относятся начальное геометрическое строение подземных вод и начальное состояние эффективных напряжений [2].

Первый расчетный этап включал моделирование природных напряжений, обусловленных силами гравитации. Во втором этапе к модели были приложены следующие нагрузки:

- Момент M_{max} в программном комплексе Plaxis будет представлен парой сил относительно центра фундамента. Модуль пары сил будет равен $F = \frac{M_{max}}{h} = \frac{941}{2,5} = 346 \text{ кН}$, где 2,5 – плечо пары сил или диаметр башни у основания. Тогда пара сил будет представлена следующими значениями $\sum M_{loadA} = \frac{346}{6,2} = 55,8 \text{ кН/м}$, где 6,2 – ширина фундамента.

- Продольная сила будет представлена равномерно-распределенной нагрузкой, действующей по площади поперечного сечения нижней, примыкающей к фундаменту, части башни: $\sum M_{loadA} = \frac{120}{3,14 \cdot 1,25^2} = 24,5 \text{ кН/м}^2$. Где 1,25 – радиус башни у основания.

- Горизонтальная нагрузка равна: $\sum M_{loadA} = \frac{57,25}{6,2} = 9,3 \text{ кН/м}$.

Расчетная схема и сетка конечных элементов представлена на рисунке 2.

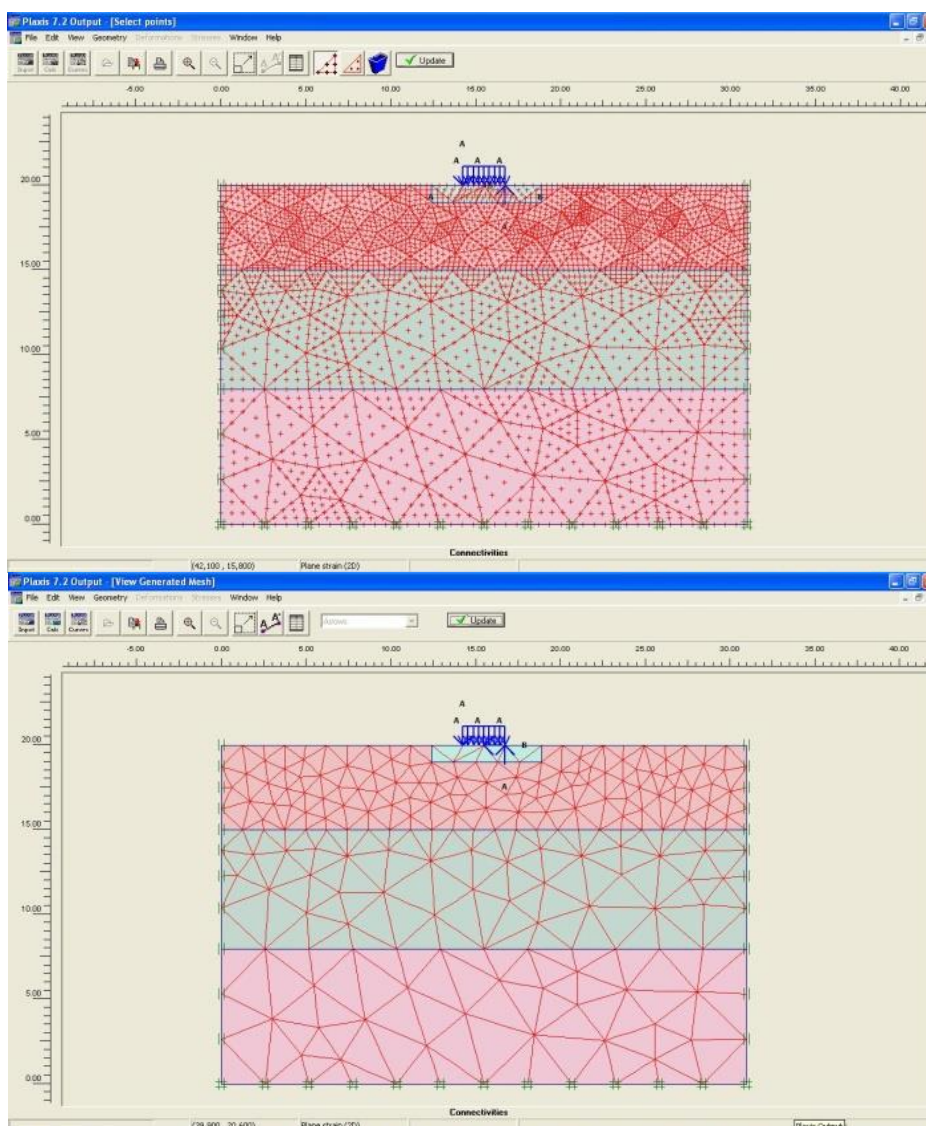


Рисунок 2 – Модель фундамента ВЭУ

Заключение:

1. В настоящее время альтернативные источники энергии приобрели особый интерес, являются предпосылкой к дальнейшему устойчивому развитию страны. Применение современных комплексных программ, основанных на методе конечных элементов, позволяют быстро производить расчеты ВЭУ, с достаточной степенью достоверности.

2. В статье достаточно подробно представлены основы расчетов по определению усилий в конструкциях ВЭУ в программе SCAD.

3. Результаты расчета применяются для дальнейшего расчета по предельным состояниям и проектирования ВЭУ.

Список литературы

1. Жусупбеков А.Ж., Лукпанов Р.Е., Оразова Д.К., Анализ вибрационного воздействия от башни ВЭУ Ерментауской ВЭС. Сборник научных трудов посвященный 60-летию Заслуженного изобретателя СССР Габиева Фахраддина Гасан оглы «Геомеханика, геотехника, геоэкология, гидротехника». – Баку 2016. – С. 90-95.
2. Lukpanov R.E., Orazova D.K., Zhussupbekov A.Zh., Sapenova Zh., 13th Baltic Sea Geotechnical Conference, ISSN 2424-5968, ISBN 978-609-457-957-8, Lithuania, 22-24 sep., 2016. – P. 196-200, Design of foundation for wind turbine with analysis by finite element method.
3. Zhussupbekov A.Zh., Lukpanov R.E., Tsygulyov D.V., Orazova D.K. Research of vibrating influence of wind power tower to the foundation // Вестник НИА РК №4 (66), 2017. – С. 124-130.

Р.Е. Лукпанов¹, С.Б. Енкебаев¹, Д.К. Оразова², І.Т. Жұмаділов³

¹Евразия ұлттық университеті. Л.Н. Гумилева
010008, Қазақстан Республикасы, Нұр-сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2

²Торайғыров университеті,
140008, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., Ломов к-сі, 64

³Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки к-сі, 20 А
e-mail: f001.kz@mail.ru

PLAXIS 2D БАҒДАРЛАМАЛЫҚ КОМПЛЕКСІН АРҚЫЛЫ НҰР-СҰЛТАН ҚАЛАСЫНЫҢ КҮРДЕЛІ ИНЖЕНЕРЛІК-ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ШАРТТАРЫНДА ЖЕЛЭНЕРГИЯСЫ ҚҰРЫЛЫМДАРЫНЫҢ ІРГЕТАСТАРЫ МЕН НЕГІЗДЕРІНІҢ ЕСЕБІ

Аңдатпа: Бұл мақала жел энергиясы құрылғыларын зерттеп бағыты жағынан жақын студенттер мен магистранттарға арналған. Мақалада Plaxis бағдарламасы комплексінде іргетастар мен негіздердің шектік жағдайлары бойынша есептеулері көрсетілген. Салыстыру мақсатында бірнеше конструктивті шешімдер алынды, дәлірек айтсақ: тақталы және қадалы-тақталы іргетастар. Қазіргі заманғы шектік элементтер әдісі мен комплексті бағдарламаларды қолдану желэнергиясы құрылғыларын тиімді есептеуге және нәтижелердің нақты болуына үлкен септігін тигізеді. Жел энергиясы құрылғыларының негіздеріне қатысты іргетастары мен негіздерінің инженерлік геологиялық шарттарды ескере отырып, көтергіштік қабілеттілігін анықтау көрсетілген. Мақала Қазақстан территориясындағы жел энергиясы құрылғыларының сапалы жобаланған қажеттілігін айқындайды, сондай ақ мұндай құрылымдарға таңдалынып алынған іргетастарға жүргізілген есептеулердің дұрыстығын көрсетеді.

Түйін сөздер: қада, Plaxis, топырақ, желді қозғалтқыштар, топырақтың есепті кедергісі.

R. Lukpanov¹, S. Enkebaev¹, D. Orazova², I. Zhumadilov³

¹The Eurasian National University named after L.N. Gumilev, Nur-Sultan
010008, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan, Satpayev str., 2

²Toraigyrov University
64 Lomova str., Pavlodar, Republic of Kazakhstan, 140008

³Shakarim University of Semey,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinka str.
e-mail: f001.kz@mail.ru

CALCULATION OF BASES AND BASES OF WIND ENERGY INSTALLATION IN THE HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF ASTANA IN THE PROGRAM COMPLEX PLAXIS 2D

Abstract: The materials of this article are focused on students and undergraduates, the direction of studies and research which are associated with wind turbines (wind turbines). The

article presents the calculations of foundations and foundations for limiting states in the Plaxis software package. For comparison, several design decisions were made: slab and pile-slab foundations. The use of modern integrated programs based on the finite element method, allows you to quickly make calculations of wind turbines, with a sufficient degree of reliability. The features of the calculation of the foundation bases for wind installations taking into account the engineering and geological conditions are given, and the condition of the bearing capacity of the soil bases under the wind installations is predicted. The article also reflects the need for well-designed modern sources of alternative energy in Kazakhstan, as well as aspects of the correctness of the selection and calculation for such foundation structures.

Key words: pile, Plaxis, soil, windmills, design soil resistance.

Сведения об авторах

Рауан Ермагамбетович Лукпанов – PhD, профессор, архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан, e-mail: rauan_82@mail.ru. ORCID: 0000-0003-0085-9934.

Серик Бейсенғалиевич Енкебаев – кандидат технических наук, PhD, кафедра «Строительство», Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан.

Динара Казбековна Оразова – PhD, ассоциированный профессор, кафедра «Промышленное гражданское и транспортное строительство» Торайгыров университет, Республика Казахстан.

Илияс Тоғанұлы Жұмаділов – PhD, ассоциированный профессор, кафедра «Автоматизация, информационные технологии и градостроительство», Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан, e-mail: f001.kz@mail.ru. ORCID: 0000-0002-8933-3332.

Авторлар туралы мәліметтер

Рауан Ермағамбетұлы Лукпанов – PhD, профессор, сәулет-құрылыс факультеті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы, e-mail: rauan_82@mail.ru. ORCID: 0000-0003-0085-9934.

Серік Бейсенғалиұлы Еркебаев – техника ғылымдарының кандидаты, PhD, "құрылыс" кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы.

Динара Қазбекқызы Оразова – PhD, қауымдастырылған профессор, "Өнеркәсіптік азаматтық және көлік құрылысы" кафедрасы Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы.

Илияс Тоғанұлы Жұмаділов – PhD, қауымдастырылған профессор, "автоматтандыру, ақпараттық технологиялар және қала құрылысы" кафедрасы, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы, e-mail: f001.kz@mail.ru. ORCID: 0000-0002-8933-3332.

Information about the authors

Rauan Ermagambetovich Lukpanov – PhD, Professor, Faculty of Architecture and Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, e-mail: rauan_82@mail.ru. ORCID: 0000-0003-0085-9934 .

Serik Beisengalievich Enkebayev – Candidate of Technical Sciences, PhD, Department of «Construction», L.N. Gumilev Eurasian National University, Republic of Kazakhstan.

Dinara Kazbekovna Orazova – PhD, Associate Professor, Department of Industrial Civil and Transport Construction, Toraigrov University, Republic of Kazakhstan.

Iliyas Toganuly Zhumadilov – PhD, Associate Professor, Department of Automation, Information Technology and Urban Planning, Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan, e-mail: f001.kz@mail.ru. ORCID: 0000-0002-8933-3332.

Материал поступил в редакцию 18.11.2021 г.