ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. МЕХАНИКА ГРУНТОВ

УДК 624.15

Е.С. Моховиков, А.С. Буслов*

Рязанский институт (филиал) университета машиностроения,
**НИИОСП им. Герсеванова*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЛЕЖНЕЙ НА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАГРУЖЕННЫХ ОПОР ЛЭП И КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аннотация. Балки-ригели или лежни, уложенные в грунте перпендикулярно стволу горизонтально нагруженной опоры для повышения ее несущей способности, имеют достаточно широкое применение. Однако вопросы технико-экономического обоснования выбора оптимальных размеров и числа лежней, влияющих на деформационно-несущую способность опор ЛЭП и контактной сети, изучены недостаточно. На основании проведенных экспериментальных и теоретических исследований дается оценка технико-экономической эффективности применения лежней в зависимости от их геометрических параметров, количества и высоты приложения горизонтальной нагрузки на опору.

Ключевые слова: горизонтальная нагрузка, опора, лежень, деформационно-несущая способность, технико-экономический

DOI: 10.22227/1997-0935.2016.10.58-68

Согласно распоряжениям Правительства РФ, одним из основных вопросов в стратегиях развития железнодорожного транспорта и энергетической отрасли РФ до 2030 г. являются «обеспечение безопасности на объектах железнодорожного транспорта» и «обеспечение надежности и безопасности работы системы электроснабжения России в нормальных и чрезвычайных ситуациях» [1, 2]. Вопросы надежности работы несущих конструкций для энергетических линий, особенно актуальны при применении одностоечных горизонтально нагруженных свайных фундаментов опор ЛЭП и контактных сетей (рис. 1, 2).

Необходимый уровень эксплуатационной надежности одностоечных горизонтально нагруженных опор при вариабельности деформационно-прочностных характеристик грунтов основания вдоль трассы может быть обеспечен путем повышения запаса их прочности за счет применения оптимальных размеров и количества лежней, создающих дополнительное реактивное сопротивление грунта нагружаемой опоре.

В целях комплексного изучения влияния лежней на перемещения и несущую способность горизонтально нагруженных опор были проведены полевые испытания крупноразмерных моделей и получены натурные данные, позволившие назначить расчетную модель взаимодействия опоры с грунтовым основанием и разработать метод ее расчета [3, 4]. Это дало возможность прове-

© Моховиков Е.С., Буслов А.С., 2016

сти аналитические исследования работы опорной конструкции в зависимости от геометрических параметров опоры и лежней, вида действующей нагрузки и места ее приложения, сведений о которых в известных источниках на данный момент недостаточно [5–15].



Рис. 1. Опоры контактной сети

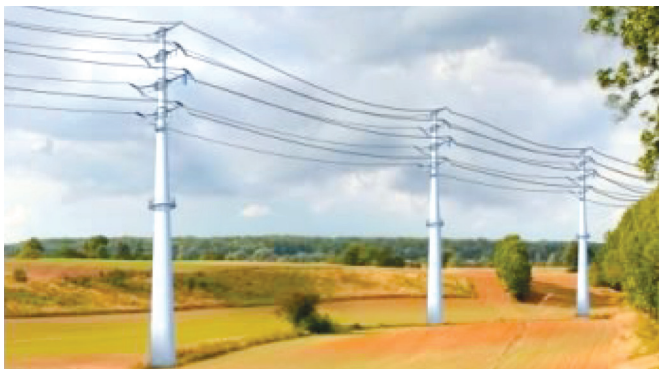


Рис. 2. Опоры линий электропередач

На рис. 3 и 4 показаны вид испытываемых моделей и схема их испытаний. Одна из опор была оснащена тензодатчиками по контакту опоры и лежней с грунтом основания.

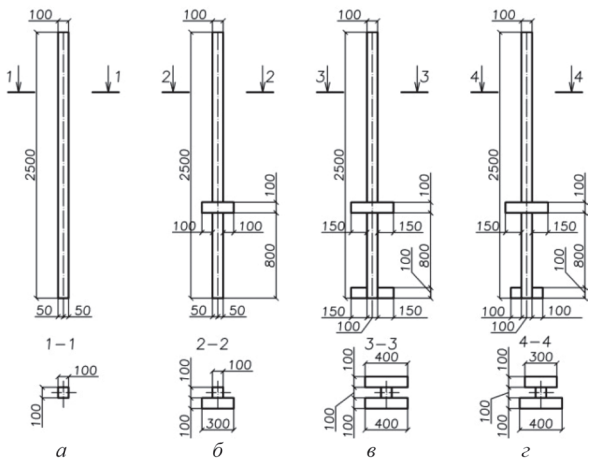


Рис. 3. Модели опор: *а* — без лежней; *б–г* — с лежнями

Первое направление исследований посвящено испытанию двух одностоечных опор, одна из которых установлена без лежня, а другая — с лежнем в верхней сдвигаемой зоне грунта основания. Путем сравнения перемещений было определено влияние лежня на деформационно-несущую способность горизонтально нагруженной одностоечной опоры.

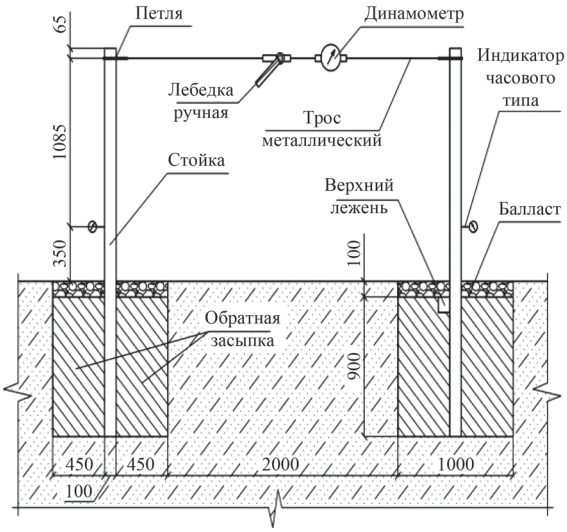


Рис. 4. Схема испытаний

Целью *второго направления* исследований являлось определение влияния места установки, размеров и числа лежней на работу горизонтально нагруженных опор.

Достоверность разработанных методов расчета горизонтально нагруженных опор с лежнями [1, 2] оценивалась на основе сопоставления расчетных и опытных данных. Натурные данные служат основной базой для оценки точности и пригодности применения теоретических разработок.

Графики зависимости «нагрузка–перемещения» при различных вариантах устройства лежней, построенные по опытным данным, приведены на рис. 5.

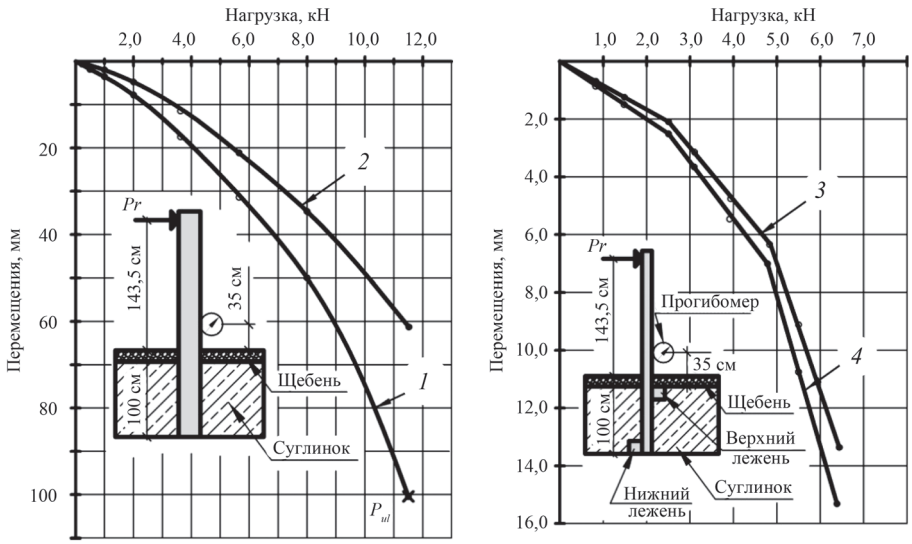


Рис. 5. Графики зависимости «нагрузка–перемещения» при различных вариантах устройства лежней: *1* — конструкции без лежней; *2* — с применением одного верхнего лежня длиной $B = 30$ см; *3* — с применением верхнего и нижнего лежней одинаковой длины $B = b = 40$ см; *4* — с применением верхнего и нижнего лежней длиной соответственно $B = 40$ см и $b = 30$ см

Анализ показывает, что применение одного верхнего лежня в фундаментах горизонтально нагруженных опор повышает эффективность их работы, заключающуюся в уменьшении горизонтальных перемещений в среднем $k_{\text{ср}}^{\text{эф}} = \frac{\Delta_{\text{б/л}}}{\Delta_{\text{с/л}}} \geq 1,3$. В случае применения двух лежней значение $k_{\text{ср}}^{\text{эф}}$ увеличивается в среднем для лежней разной длины в 1,66 и для лежней равной длины в 1,77 раза по сравнению с опорой без лежня. Необходимо также отметить, что на первых ступенях нагрузок показания индикаторов между собой различаются незначительно. Это связанно с включением в работу боковых поверхностей опоры за счет сил трения, которые до их «срыва» в основном принимают нагрузку на себя.

Результаты расчетов по предложенному методу перемещений опоры с одним верхним лежнем [3] в сопоставлении с опытными данными приведены в табл. 1.

Табл. 1. Сравнение результатов аналитических расчетов для перемещений горизонтально нагруженной опоры с одним верхним лежнем длиной 30 см в сопоставлении с опытными данными

Нагрузка, кН	0,56	0,79	1,0	2,0	3,5	5,5	8,0
расч.$\Delta\frac{\text{рас.}}{H_i}$, мм	1,90	2,68	3,40	6,80	11,90	18,70	27,20
опыт.$\Delta\frac{\text{оп.}}{H_i}$, мм	1,08	1,62	2,38	4,77	12,11	20,34	35,13
отношение $\Delta\frac{\text{рас.}}{H_i} \Big/ \Delta\frac{\text{оп.}}{H_i}$ без учета трения	1,76	1,65	1,43	1,42	0,98	0,92	0,77
расч.$\Delta\frac{\text{рас.}}{H_i}$, мм с учетом дополнительного сопротивления за счет сил трения	1,20	1,68	2,28	5,68	10,62	17,50	26,08
отношение $\Delta\frac{\text{рас.}}{H_i} \Big/ \Delta\frac{\text{оп.}}{H_i}$ с учетом трения	1,14	1,06	1,05	1,21	0,88	0,86	0,74

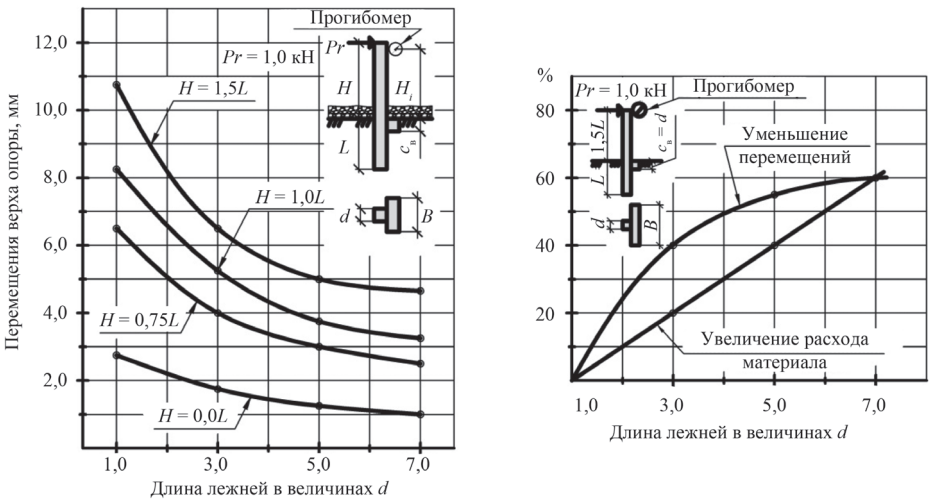
Видно, что без учета сил трения, действующих по боковым граням опоры, расхождения между расчетными и опытными данными значительны. Особенно большие расхождения отмечаются при нагрузках до «срыва» сил трения, а также при приближении величин нагрузок к критическому значению. С учетом сил трения расхождения расчетных и опытных данных вполне удовлетворительны и составляют в среднем 9,91 %. Однако, учитывая важность учета сил бокового трения при проведении исследований, в практических методах расчета ими рекомендуется пренебрегать для увеличения запаса прочности. Аналогичные результаты получены и при других вариантах длины, числа и места расположения лежней.

Увеличение высоты приложения горизонтальной нагрузки над поверхностью грунта приводит к значительному увеличению перемещений опоры и ее крена. При этом применение лежней весьма эффективно влияет на уменьшение деформаций горизонтально нагруженных свайных опор (рис. 3).

Зависимости между перемещениями опоры, длиной лежня и высотой приложения горизонтальной нагрузки имеют *нелинейный* характер.

Из графиков (рис. 6, *а*) видно, что наиболее эффективно применение лежней с размерами длины до (3…5) *d*. Дальнейшее увеличение длины лежня малоэффективно с точки зрения зависимости «затраты материала — уменьшение перемещений» (рис. 6, *б*).

Проведенные аналитические исследования показали, что существенного снижения перемещений опоры при увеличении толщины лежня, как это наблюдалось с увеличением его длины, практически не выявлено. Сравнение технико-экономического эффекта от увеличения толщины лежня с затратами материалов приведены в табл. 2.



а *б*

Рис. 6. Зависимости (*а*) перемещения горизонтально нагруженных свай от длины лежня *B* и высоты приложения горизонтальной нагрузки H_i и (*б*) уменьшения перемещений и увеличения расхода материала в процентном отношении от увеличения длины лежня *B*

Табл. 2. Влияние толщины лежня $c_в$ на величину перемещений горизонтально нагруженной опоры и расход материала

Толщина лежня $c_в$ в величинах заглубления опоры *L*	0,00 (опора без лежня)	0,10	0,15	0,20	0,25	0,3
		Лежень длиной $B = 3d$				
Относительное увеличение расхода материала в сравнении с опорой без лежня, %	0,00	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0
Относительное уменьшение перемещений в сравнении с опорой без лежня, %	0,00	40,0	39,8	39,5	40,2	40,2

Наибольший технико-экономический эффект от увеличения толщины лежня наблюдается при ширине лежня $c_в < 0{,}2L$. При этом рост затрат на материал для лежней не превышает эффекта, получаемого от снижения деформаций опоры с лежнем по сравнению с вариантом без лежня.

Перемещения горизонтально нагруженной сваи с двумя лежнями при прочих равных условиях уменьшаются по сравнению со сваями без лежня и с одним лежнем. В такой же степени лежни оказывают влияние и на крен (угол наклона) опоры. Наибольший эффект от применения лежней отмечается при длине лежня $B = 3d$. Зависимость между перемещениями опоры без лежней и с лежнями разной длины носит нелинейный характер (рис. 7).

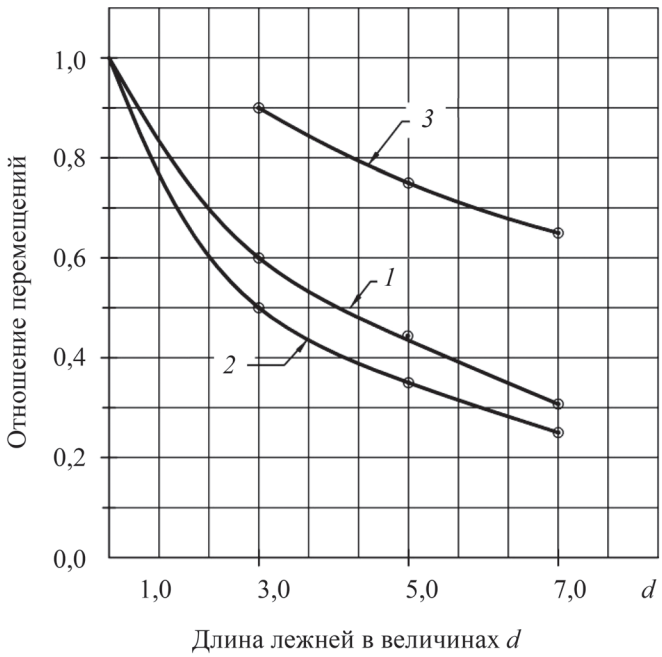


Рис. 7. Зависимости относительного уменьшения перемещений от количества и длины лежней: *1* — в опоре с одним лежнем по отношению к опоре без лежня; *2* — в опоре с двумя лежнями одинаковой длины по отношению к опоре без лежня; *3* — в опоре с двумя лежнями по отношению к опоре с одним лежнем

Экспериментальные и аналитические исследования с использованием разработанного метода расчета [4] показали, что увеличение длины лежня приводит к повышению несущей способности горизонтально нагруженной опоры (табл. 3), а повышение высоты приложения горизонтальной нагрузки — к снижению несущей способности опоры. Так, при увеличении H от 0,0 до 1,5L несущая способность опоры без лежней снижается в 2,5 раза (табл. 3).

Видно, что соотношения между величинами несущей способности опоры с лежнями и без них в пределах одной длины лежня не зависят от высоты приложения нагрузки. Однако эти соотношения зависят от длины лежня и с ее увеличением величина этих соотношений также возрастает.

Табл. 3. Несущая способность опоры с одним лежнем разной длины при изменении высоты приложения нагрузки и ее соотношения с несущей способностью опоры без лежня

Высота приложения нагрузки H в величинах глубины опоры L			0,00	0,75	1,00	1,50
Длина лежня в величинах d	$3d$	P_{ul}	34,5	19,71	17,24	13,80
		Отношение $P_{ul}^{3d} / P_{ul}^{1d}$	1,32	1,32	1,32	1,32
	$5d$	P_{ul}	40,75	23,28	20,37	16,30
		Отношение $P_{ul}^{5d} / P_{ul}^{1d}$	1,56	1,55	1,56	1,56
	$7d$	P_{ul}	58,1	33,2	29,05	23,24
		Отношение $P_{ul}^{7d} / P_{ul}^{1d}$	2,22	2,22	2,22	2,22

На рис. 8 показаны зависимости между расходом материала на лежни при увеличении их длины и повышением предельной несущей способности горизонтально нагруженной опоры в процентном соотношении.

Видно, что между увеличением длины лежня и дополнительным расходом материала на его изготовление имеется линейная зависимость, тогда как несущая способность горизонтально нагруженной опоры при длине лежня более $5d$ увеличивается несколько быстрее.

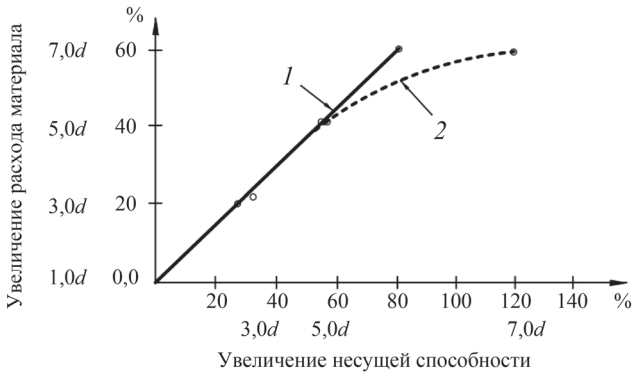


Рис. 8. График зависимости между увеличением расхода материала (кривая *1*) и повышением несущей способности в процентном соотношении (кривая *2*)

При длине лежней $B = 3d$ несущая способность опоры с двумя лежнями по сравнению с одним лежнем в рассматриваемом нами примере расчета увеличивается на 72 % независимо от высоты приложения горизонтальной нагрузки. Соотношения сопротивлений опоры с одним лежнем и без лежня для тех же условий равны 1,32. Коэффициент эффективности увеличения несущей способности опоры с двумя лежнями и без лежней по отношению к расходу материала значительно больше единицы. Так, для варианта $B = 3d$ расход материала по сравнению с опорой без лежня увеличился всего на 40 % при увеличении сопротивления опоры на 72 %.

Применение двух лежней для повышения несущей способности опоры дает *больший эффект* по сравнению с одним лежнем с точки зрения расхода материала на их изготовление. Эффективность применения двух лежней по отношению к применению одного лежня при их длине 3*d* и 5*d* увеличивается, а при 7*d* уменьшается

Этот фактор можно объяснить, анализируя графики зависимостей между несущей способностью и длиной лежней (рис. 9). Видно, что при длине лежней (3…5)*d* эти зависимости как для опоры с одним лежнем, так и двумя лежнями имеют линейный характер угла расхождения, а далее из-за нелинейности кривой при одном лежне угол расхождения между зависимостями уменьшается.



Рис. 9. Графики зависимости между несущей способностью и длиной лежней в величинах *d*: *1* — опора с одним лежнем, сила приложена на высоте 1,5*L*; *2* — опора с двумя лежнями, сила приложена на высоте 1,5*L*; *3* — опора с одним лежнем, сила приложена на высоте 0,0; *4* — опора с двумя лежнями, сила приложена на высоте 0,0

Анализ результатов сопоставительных расчетов несущей способности и расхода материала опоры с двумя лежнями разной длины в сравнении с несущей способностью опоры с лежнями одинаковых размеров и расходом материала показал, что с технико-экономической точки зрения оба варианта практически равнозначны.

Для анализа выбран вариант лежня длиной $B = 3d$. Из данных в табл. 4 видно, что с увеличением толщины лежня несущая способность опоры увеличивается. Однако сравнение коэффициентов увеличения P_{ul} с расходом материала на лежни различной толщины показывает, что повышение несущей способности опоры при этом отстает от увеличения затрат материала.

Табл. 4. Несущая способность опоры с лежнем длиной $B = 3d$ при изменении его толщины (горизонтальная нагрузка приложена на высоте $H = 1,5\ L$)

Толщина лежня $c_в$, см	10	15	20	25
Толщина лежня в величинах длины L	0,10	0,15	0,20	0,25
Несущая способность опоры с лежнем P_{ul}, кН	13,79	14,84	15,46	15,68
$P_{ul}\left(c_в \geq 0,1L\right)/P_{ul}\left(c_в = 0,1L\right)$	1,0	1,076	1,126	1,136
Отношение объемов материала при $c_в \geq 0,1L$ и $c_в = 0,1L$	1,0	1,083	1,166	1,25
P_{ul} опоры с $c_в = 0,1L$ при равном расходе материала для $c_в > 0,1L$, кН	—	—	16,3	—

Следовательно, с технико-экономической точки зрения увеличение длины лежня с целью повышения несущей способности горизонтально нагруженной опоры является более эффективным, чем увеличение толщины опоры. На основании проведенных аналитических исследований показано, что эффективность применения лежней для уменьшения перемещений и кренов отдельно стоящих опор наиболее ощутима в случаях, когда горизонтальная нагрузка приложена на значительной высоте над уровнем дневной поверхности.

Этот вывод подтверждает эксплуатационную и экономическую целесообразность применения лежней для повышения деформационной устойчивости опор ЛЭП и контактной сети, особенностью которых является восприятие горизонтальных усилий и моментов от веса проводов и технического оборудования на значительной высоте от дневной поверхности.

Полученные результаты позволяют при проектировании опор ЛЭП и контактной сети рекомендовать наиболее экономичный вариант с высокой степенью надежности при эксплуатации.

Библиографический список

1. Об утверждении Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года и плана мероприятий на 2008-2015 годы по ее реализации : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 года № 877-р.

2. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года : утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.

3. *Буслов А.С., Моховиков Е.С.* Влияние лежней на перемещения горизонтально нагруженных фундаментов опор контактной сети // Вестник МГСУ. 2014. № 8. С. 44–53.

4. *Буслов А.С., Моховиков Е.С.* Несущая способность горизонтально нагруженной одиночной свайной опоры с лежнями // Вестник МГСУ. 2015. № 9. С. 51–60.

5. *Буслов А.С., Бакулина А.А.* Влияние кольцевого уширения на несущую способность горизонтально нагруженной моносвайной опоры // Вестник МГСУ. 2012. № 4. С. 63–68.

6. *Голубков В.Н.* Экспериментальные исследования работы свай на горизонтальную нагрузку // Сб. тр. НИИ. М. : Стройвоенмориздат, 1948. № 11. С. 5–34.

7. *Горошков Ю.И., Бондарев Н.А.* Контактная сеть. М. : Транспорт, 1981. 400 с.

8. *Знаменский В.В.* Инженерный метод расчета горизонтально нагруженных групп свай. М. : Изд-во АСВ, 2000. 128 с.

9. СТН ЦЭ 141-99. Нормы проектирования контактной сети. М., 2001.

10. *Broms B.B.* Lateral resistance of piles in cohesive soils // J. Soil Mech. Found. Div. 1964. 90 (2). Pp. 27–64.

11. *Shakhirev V.B.* Experimental investigation of pile-soil interaction under horizontal loading // 13 International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Calcut-ta, Bombay, New Delhi, 1994. Vol. II. Pp. 619–622.

12. *Ангельский Д.В.* К расчету свайных оснований на горизонтальную нагрузку // Труды МАДИ. М. : Гострансиздат, 1937. № 7. С. 41–49.

13. *Миронов В.В.* К расчету одиночных свай и высоких свайных ростверков на действие горизонтальных сил // Труды ЛИИЖТа. Л., 1963. Вып. 207. С. 112–156.

14. *Poulos H.G.* The behavior of laterally loaded piles. Part I: Single piles // ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Division. 1971. Vol. 97. No. 5. Pp. 711–731.

15. *Снитко Н.К., Чернов В.К.* Деформационный расчет и устойчивость сжато-изогнутых свай // Механика грунтов, основания и фундаменты : сб. тр. ЛИСИ. Л., 1976. Вып. 1 (116). С. 8–14.

Поступила в редакцию в марте 2016 г.

Об авторах: **Моховиков Евгений Сергеевич** — старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства, **Рязанский институт (филиал) «Московский государственный машиностроительный университет» (МАМИ) (Рязанский институт (филиал) университета машиностроения)**, 390000, г. Рязань, ул. Право-Лыбедская, д. 26/53, 89308888486@mail.ru;

Буслов Анатолий Семенович — доктор технических наук, профессор, советник РААСН, главный научный сотрудник, **Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова (НИИОСП им. Герсеванова)**, 109428, г. Москва, Рязанский пр-т, д. 59, a.buslov@yandex.ru.

Для цитирования: *Моховиков Е.С., Буслов А.С.* Анализ влияния лежней на перемещения и несущую способность горизонтально нагруженных опор ЛЭП и контактной сети по данным экспериментально-теоретических исследований // Вестник МГСУ. 2016. № 10. С. 58–68. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.10.58-68

E.S. Mokhovikov, A.S. Buslov

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF FOUNDATION BEAMS ON DISPLACEMENTS AND BEARING CAPACITY OF HORIZONTALLY LOADED SUPPORTS OF POWER LINES AND CONTACT SYSTEMS BASING ON THEORETICAL AND EXPERIMENTAL DATA

Abstract. The issues of bearing structures reliability for energy lines are of special importance in case of the use of single post horizontally loaded pile foundations of power lines and contact system supports. The required level of operational reliability of single post horizontally loaded supports in case of variability of strain-strength features of foundation soils along the route may be provided by using optimal sizes and number of foundation beams creating additional reactive impedance of soil to the loaded support.

Foundation beams laid in soil perpendicular to a horizontally loaded support for increasing its bearing capacity are rather widely used. Though the issues of technical and economic substantiation of the choice of optimal sizes and number of beams influencing the strain and bearing capacity of power lines and contact system supports haven't been studied enough. Basing on the experimental and theoretical studies the authors proposes his assessment of technical and economical efficiency of the use of foundation beams depending on their geometrical parameters, the amount and height of horizontal loading on a support.

Key words: horizontal load, support, foundation beam, strain-bearing capacity, technical and economic

References

1. *Ob utverzhdenii Strategii razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda i plana meropriyatiy na 2008-2015 gody po ee realizatsii : Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 17 iyunya 2008 goda № 877-r* [On Approving the Development Strategy of Railway Transport of the Russian Federation up to 2030 and Activity Plan on its Implementation for 2008-2015 : Decree of the Government of the Russian Federation from June 17, 2008 no. 877-r]. (In Russian)

2. *Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda : utverzhdennaya rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 13 noyabrya 2009 g. № 1715-r* [Energy Strategy of Russia for the Period up to 2010 : Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation from November 13, 2009 no. 1715-r]. (In Russian)

3. Buslov A.S., Mokhovikov E.S. Vliyanie lezhney na peremeshcheniya gorizontal'no nagruzhennykh fundamentov opor kontaktnoy seti [Influence of Solepieces on the Displacements of Horizontally Loaded Support Bases of a Contact System]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 8, pp. 44–53. (In Russian)

4. Buslov A.S., Mokhovikov E.S. Nesushchaya sposobnost' gorizontal'no nagruzhennoy odinochnoy svaynoy opory s lezhnyami [Bearing Capacity of a Horizontally Loaded Single Pile Support with Sleepers]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 9, pp. 51–60. (In Russian)

5. Buslov A.S., Bakulina A.A. Vliyanie kol'tsevogo ushireniya na nesushchuyu sposobnost' gorizontal'no nagruzhennoy monosvaynoy opory [Effect of a Round Cap on the Bearing Capacity of a Laterally Loaded Pile]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering], 2012, no. 4, pp. 63–68. (In Russian)

6. Golubkov V.N. Eksperimental'nye issledovaniya raboty svay na gorizontal'nuyu nagruzku [Experimental Studies of Operation of Piles under Horizontal Load]. *Sbornik trudov NII* [Collection of Works of the Research Institute]. Moscow, Stroyvoenmorizdat Publ., 1948, no. 11, pp. 5–34. (In Russian)

7. Goroshkov Yu.I., Bondarev N.A. *Kontaktnaya set'* [Overhead Wiring]. 2nd edition, revised. Moscow, Transport Publ., 1981, 400 p. (In Russian)

8. Znamenskiy V.V. *Inzhenernyy metod rascheta gorizontal'no nagruzhennykh grupp svay* [Engineering Calculation Method of Horizontally Loaded Clump of Piles]. Moscow, ASV Publ., 2000, 128 p. (In Russian)

9. *STN TsE 141-99. Normy proektirovaniya kontaktnoy seti* [Requirements STN TsE 141-99. Design Specifications of an Overhead Contact System]. Moscow, 2001. (In Russian)

10. Broms B.B. Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils. J. Soil Mech. Found. Div. 1964, 90 (2), pp. 27–64.

11. Shakhirev V.B. Experimental Investigation of Pile-Soil Interaction under Horizontal Loading. 13 International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Calcutta, Bombay, New Delhi, 1994, vol. II, pp. 619–622.

12. Angel'skiy D.V. K raschetu svaynykh osnovaniy na gorizontal'nuyu nagruzku [To the Calculation of Pile Foundations in Case of Horizontal Loadings]. *Trudy MADI* [Works of Moscow Automobile and Road Construction University]. Moscow, Gostransizdat Publ., 1937, no. 7, pp. 41–49. (In Russian)

13. Mironov B.B. K raschetu odinochnykh svay i vysokikh svaynykh rostverkov na deystvie gorizontal'nykh sil [To the Calculation of Single Piles and High Pile Foundation Frames in Case of Horizontal Impacts]. *Trudy LIIZhTa* [Works of Leningrad Institute of Engineers of Railway Transport]. Leningrad, 1963, no. 207, pp. 112–156. (In Russian)

14. Poulos H.G. The Behavior of Laterally Loaded Piles. Part I: Single Piles. ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Division. 1971, vol. 97, no. 5, pp. 711–731. (In Russian)

15. Snitko N.K., Chernov V.K. Deformatsionnyy raschet i ustoychivost' szhato-izognutykh svay [Deformation Calculation and Stability of Beam Piles]. *Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty : sbornik trudov LISI* [Soil Mechanics, Bases and Foundations : Collection of Works of Leningrad Engineering and Construction Institute]. Leningrad, 1976, no. 1 (116), pp. 8–14. (In Russian)

About the authors: **Mokhovikov Evgeniy Sergeevich** — senior lecturer, Department of Architecture and Urban Planning, **Ryazan Institute (branch) of Moscow State University of Mechanical Engineering (UMech)**, 26/53 Pravo-lybedskaya str., Ryazan, 390000, Russian Federation; 89308888486@mail.ru;

Buslov Anatoliy Semenovich — Doctor of Technical Science, Professor, Advisor Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, chief research worker, **Gersevanov Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP)**, 59 Ryazanskiy pr-t, Moscow, 109428, Russian Federation; a.buslov@yandex.ru.

For citation: Mokhovikov E.S., Buslov A.S. Analiz vliyaniya lezhney na peremeshcheniya i nesushchuyu sposobnost' gorizontal'no nagruzhennykh opor LEP i kontaktnoy seti po dannym eksperimental'no-teoreticheskikh issledovaniy [Analysis of the Influence of Foundation Beams on Displacements and Bearing Capacity of Horizontally Loaded Supports of Power Lines and Contact Systems Basing on Theoretical and Experimental Data]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2016, no. 10, pp. 58–68. (In Russian) DOI: 10.22227/1997-0935.2016.10.58-68