

Продолжение таблицы

Метеоусловия	Воздух рабочей зоны станции аэрации	Воздух рабочей зоны станции аэрации с принудительной вентиляцией	Воздух закрытого помещения (условно чистый)	ПДК рабочей зоны (мг/м <sup>3</sup> )
NO, (мг/м <sup>3</sup> )	0	0	0	5
SO <sub>2</sub> , (мг/м <sup>3</sup> )	12,0	4,4	1,0	10
CL <sub>2</sub> , (мг/м <sup>3</sup> )	0,1	0	0	1
H <sub>2</sub> CO, (мг/м <sup>3</sup> ) (формальдегид)	2,0	0,55	0	0,5
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH (этанол), (мг/м <sup>3</sup> )	0	0	0	1000

Экспериментально установлено, что уровень содержания диоксида серы в воздухе ра-

бочей зоны станции аэрации превысил норматив (SO<sub>2</sub> 12,0 мг/м<sup>3</sup>). Высокое содержание диоксида серы возможно объяснить разрушением органических веществ анаэробными микроорганизмами [9].

Таким образом, в условиях перекрытых очистных сооружений состав газовой среды воздуха рабочей зоны напрямую зависит от режима и эффективности работы оборудования очистки сточных вод. Что позволяет расценивать данный вопрос как с точки зрения охраны труда и общественного здоровья, так и распространения загрязняющих веществ в окружающей среде.

#### Список литературы

1. Watts, P.J., Sweeten, J.M., 1995. Toward a better regulatory model for odour. In: Proceedings of the Xth Feedlot Association of Australia Conference. FeedlotWaste Management Conference, Benowa, QLD
2. Freeman, T., Cudmore, R., 2002. Review of Odour Management in New Zealand. Air Quality Technical Report 24. New Zealand Ministry of Environment, Wellington, p. 163
3. Brancher, Marlon & David Griffiths, K & Franco, Davide & Lisboa, Henrique. (2017). A review of odour impact criteria in selected countries around the world. Chemosphere. 168. 1531–1570. 10.1016
4. Zarra, T. 2007 Procedures for detection and modelling of odours impact from sanitary environmental engineering plants. PhD Thesis, University of Salerno, Salerno, Italy
5. Fisher, Ruth & Barczak, Radoslaw & Suffet, Mel & Hayes, James & Stuetz, Richard. (2018). Framework for the use of odour wheels to manage odours throughout wastewater biosolids processing. The Science of the total environment. 634. 214-223
6. T. Zarra, V. Naddeo, V. Belgiorno, M. Reiser and M. Kranert (2008) Odour monitoring of small wastewater treatment plant located in sensitive environment. Article in Water Science & Technology. July 2008, 89-94
7. Byliński, Hubert & Sobiecki, Andrzej & Gebicki, Jacek. (2019). The Use of Artificial Neural Networks and Decision Trees to Predict the Degree of Odor Nuisance of Post-Digestion Sludge in the Sewage Treatment Plant Process. Sustainability 2019, 11, 4407; doi:10.3390/su11164407
8. К вопросу о содержании газов в воздухе рабочей зоны перекрытых очистных сооружениях сточных вод/ Кондакова Н.В., Гаврилина Ю.А. //Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техноферной безопасности: материалы V Всероссийской научно-технической конференции молодых исследователей (с международным участием), Волгоград. гос. техн. ун-т. — Волгоград : ВолгГТУ, 2018. — С 130-132
9. Исследование влияния абиотических факторов на состав воздуха рабочей зоны перекрытых очистных сооружений/ Серпокрылов Н.С., Кондакова Н.В., Гаврилина Ю.А., Мозгунова А.А.// Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2018»: материалы XI Межд. науч.-практ. конф.; Красная Поляна, г. Сочи, 11–14 декабря 2018 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т.(НПИ) имени М.И.Платова –Новочеркасск: Лик,2018 – 255 -259.
10. ГОСТ Р iso 16000-28— 2015. Воздух замкнутых помещений УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 октября 2015 г. № 1543-ст.

© Н. В. Кондакова, А. А. Мозгунова, Ю. А. Гаврилина, Н. С. Серпокрылов

#### Ссылка для цитирования:

Н. В. Кондакова, А. А. Мозгунова, Ю. А. Гаврилина, Н. С. Серпокрылов. Оценка состояния воздуха рабочей зоны и выделяемых запахов в условиях крытых очистных сооружений // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 4 (30). С. 13–16.

УДК 624.9

### РАСЧЁТ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА НА ЭСТАКАДЕ НА ПОПЕРЕЧНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ПО УПРОЩЁННЫМ РАСЧЁТНЫМ СХЕМАМ

**О. Б. Завьялова**

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Россия*

В статье рассмотрена последовательность расчёта магистральных надземных трубопроводов на прочность при поперечных сейсмических колебаниях; приводится методика упрощения расчётных схем регулярных трубопроводов за счет введения многопролетной статически неопределимой балки с равными пролётами к однопролетным балкам с шарнирным или жестким опиранием. Влияние компенсаторов не учитывается. В соответствии с условиями опирания определены приведенные массы пролетов, что позволило заменить многомассовую систему осциллятором и получить простые решения для частот собственных колебаний по первым двум формам, коэффициенты динамичности, сейсмические нагрузки на трубопровод и внутренние усилия в трубопроводе и опорных стойках. Сделан вывод о влиянии сдвиговых деформаций на результаты расчета сейсмических нагрузок.

**Ключевые слова:** сейсмические нагрузки, трубопровод, формы колебаний, упрощённая схема, приведенная масса.

**CALCULATION OF PIPELINES ON A FLYOVERS ON TRANSVERSE SEISMIC LOADS BY SIMPLIFIED CALCULATION SCHEMES**

**O. B. Zavyalova**

*Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russia*

The article considers the sequence of calculation of the main overground pipelines for strength under at transverse seismic oscillations is considered; the technique of simplification of calculation schemes of regular pipelines is given by bringing a multi-span statically indeterminate beam with equal spans to single-span beams with hinged or rigid support. The influence of compensators is not taken into account. In accordance with the conditions of support, the specified masses of spans are determined, which allowed to replace the multimass system with an oscillator and to obtain simple solutions for natural frequency frequencies in the first two forms, dynamic coefficients, seismic loads on the pipeline and internal forces in the pipeline and support racks. A conclusion is drawn on the effect of shear strains on the results of seismic loads calculation.

**Keywords:** seismic loads, pipeline, waveforms, coefficient of dynamism, simplified scheme, reduced mass.

Нормативная документация определяет правила расчета нагрузок на трубопроводы [1]. Согласно этому документу, отклик от инерционных нагрузок, действующих на надземную часть трубопровода, вычисляют по одному из трех методов по выбору проектной организации:

- линейно-спектральная теория сейсмостойкости;
- метод эквивалентной статической нагрузки;
- метод динамического анализа.

Метод эквивалентной статической нагрузки, по мнению большинства проектировщиков, является наиболее простым, но дает значительный запас прочности ввиду того, что период колебаний трубопровода в таком расчете не определяют, а коэффициент динамичности принимают равным максимальному значению, т.е.  $\beta_{max} = 2,5$  [1; 3]. Между тем, для трубопроводов регулярной структуры, имеющих большую протяженность, вычисление собственных частот можно выполнять по упрощенным расчетным схемам, учитывая при этом две наиболее вероятные формы колебаний. Это относится к участкам между компенсаторами, длина которых может достигать 100 и более метров, для П-образных компенсаторов в зависимости от диаметра трубопровода – и до 200 метров.

Рассмотрим трубопровод регулярной структуры, т.е. имеющий одинаковое расстояние между опорами. Это позволит нам считать, что массы трубопроводов во всех пролётах одинаковы, а значит, будут равны и приведенные массы пролетов. При этом будем иметь в виду, что любое колебательное движение можно разложить на колебания в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Сначала рассмотрим колебания трубопровода в вертикальной плоскости, затем – в горизонтальной.

В свою очередь, каждое из этих движений может быть двух типов:

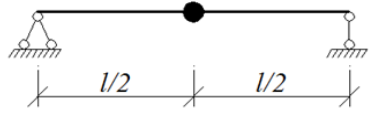
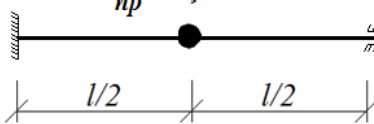
- все пролёты перемещаются одинаково, т.е. все движутся вверх, или все движутся вниз, или в одну и ту же сторону по горизонтали. Либо в результате суммы этих движений происходят колебания в наклонной плоскости (что более реально);
- смежные пролёты движутся в противофазах.

Предварительно определим податливость и приведенную массу участка трубопровода между опорами.

Приведенную массу найдем, приравнявая частоту собственных колебаний балки на двух опорах с массой, сосредоточенной в середине пролета, и такой же балки с распределенной массой, для которой учитывается первая форма колебаний. Расчет для двух условий опирания выполнен без учета деформаций сдвига. Результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Приведенные массы и величина податливости однопролетных балок

Расчетная схема и соответствующая ей приведенная масса	Податливость от единичной силы в середине пролёта
$m_{np} = 0,493 \bar{m}l$ 	$\delta_{11} = \frac{l^3}{48EI}$
$m_{np} = 0,3836 \bar{m}l$ 	$\delta_{11} = \frac{l^3}{192EI}$

**Вертикальные колебания трубопровода при сонаправленном движении пролётов**

Положение искривлённой оси трубопровода в процессе сейсмических колебаний в произвольный момент времени показано на рис. 1.

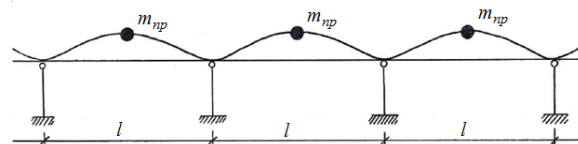


Рис. 1. Вертикальные колебания трубопровода при сонаправленном движении пролётов

Из рисунка видно, что сечения трубопровода, находящиеся над опорами, при таком движении не поворачиваются, а максимальные перемещения во всех пролётах одинаковы (при равных пролётах). Следовательно, для анализа работы трубопровода можно ограничиться рассмотрением работы одного пролёта, представив его расчётную схему в виде

балки на двух опорах, препятствующих смещению и повороту опорных сечений в вертикальной плоскости (табл. 1, схема 2).

Рассматриваемые колебания для однопролётной балки с распределённой массой соответствуют первому тону и первой частоте собственных колебаний, поэтому для упрощения расчёта переходим к приведенной массе, располагая её в середине пролёта балки, и выполняем расчёт сейсмической нагрузки, соответствующей первому тону колебаний, т.е. расчёт осциллятора.

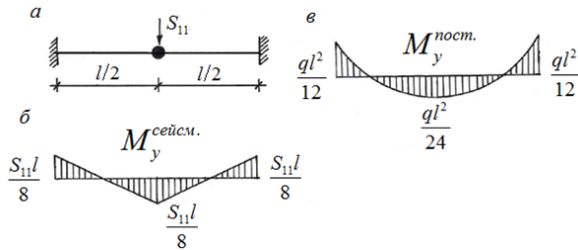


Рис. 2. Расчетная схема рядового пролёта (а), эпюры моментов от сейсмической (б) и постоянной (статической) нагрузки (в)

Для рассматриваемой схемы приведенная масса  $m_{np} \approx 0,384 \bar{m}l = 0,384 M$ , податливость  $\delta_{11} = l^3/192 EI$ . Здесь и далее  $\bar{m}$  - погонная масса трубопровода,  $l$  - расстояние между опорами.

Дальнейший расчёт обычный: вычисляем круговую частоту  $\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{\delta_{11} m_{np}}} = \sqrt{\frac{192 EI}{m_{np} l^3}}$ , затем период колебаний  $T_1 = 2\pi/\omega_1$ ; соответствующий величине периода и характеристикам грунта основания (п. 4.8 [2]) коэффициент динамичности  $\beta(T_1)$  (п. 5.6 [2]), и, наконец, величину сейсмической нагрузки  $S_{ik}^j = S_{11} = K_0 K_1 m_k^j A \beta_i K_\psi \eta_{ik}^j$  [2], или  $[F_j] = \pm A_j [M]_{j,k}$  [1].

Эпюра моментов в трубопроводе от сейсмической нагрузки представлена на рис. 2б, от постоянной равномерно-распределённой нагрузки «q» от веса трубопровода на рис. 2в. Максимальный изгибающий момент в сечениях над опорами при движении вниз составит:

$$M_y = M_y^{пост.} + M_y^{сейсм.} = \frac{ql^2}{12} + \frac{S_{11}l}{8}$$

### Горизонтальные колебания трубопровода при сонаправленном движении пролётов

Расчёт колебаний трубопровода в этом случае выполняется с учётом податливости стоек (рис. 3). Суммарная податливость  $\delta_{11}$  будет складываться из ранее вычисленной податливости трубопровода  $\delta_{11}^{mp} = l^3/192 EI_{mp}$  и податливости стойки как вертикальной консольной конструкции  $\delta_{11}^{cm} = h^3/3EI_{cm}$ , где  $h$  - высота стойки.

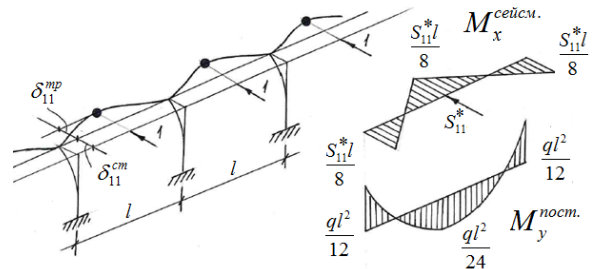


Рис. 3. Горизонтальные колебания трубопровода при сонаправленном движении пролётов и соответствующие им эпюры моментов

Вычисляем  $\delta_{11} = \delta_{11}^{mp} + \delta_{11}^{cm}$ , затем круговую частоту колебаний первого тона  $\omega_1$ , период колебаний  $T_1$ , коэффициент динамичности  $\beta(T)$  и, наконец,  $S_{11}^*$ . Расчётный изгибающий момент в трубопроводе при действии горизонтальной сейсмической нагрузки  $S_{11}^*$  получится умножением момента от единичной горизонтальной силы на величину  $S_{11}^*$ :  $M_x^{сейсм.} = \frac{S_{11}^*l}{8}$ .

### Проверка прочности трубопровода при учёте горизонтальных и вертикальных колебаний при сонаправленном движении пролётов

Суммой вертикальных и горизонтальных колебаний являются колебания в наклонной плоскости. Вычисляем суммарный изгибающий момент в опасном сечении трубопровода и проверяем прочность:

$$\sigma_{max}^{mp} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{W_{oc}^{mp}} \leq R_y \gamma_c$$

Опорные стойки работают на сжатие с изгибом:

$$\sigma_{max}^{cm} = \frac{M_{max}^{cm}}{W_{oc}^{cm}} + \frac{N}{A_{cm}} \leq R_y \gamma_c$$

Максимальный изгибающий момент в стойке от действия горизонтальной сейсмической нагрузки будет возникать в сечении вблизи заделки:

$$M_{max}^{cm} = S_{11}^* h_{cm}$$

Продольная сжимающая сила складывается из опорной реакции двух смежных пролётов трубопровода и вертикальной сейсмической нагрузки:

$$N = ql + S_{11}^*$$

Следует отметить, что рассмотренная выше форма колебаний трубопровода, когда все его массы движутся сонаправленно, является для него второй формой колебаний.

### Вертикальные колебания трубопровода при противоположно направленном движении пролётов

Положение искривлённой оси трубопровода в процессе сейсмических колебаний в произ-

вольный момент времени для этого случая показано на рис. 4,а.

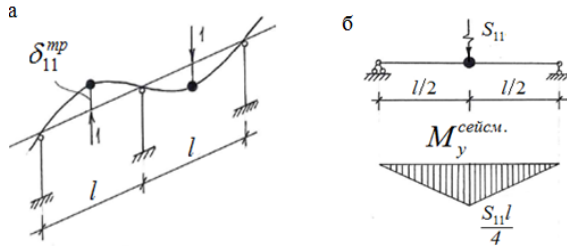


Рис. 4. Вертикальные колебания трубопровода при противоположно направленном движении пролётов (а) и расчетная схема рядового пролёта (б)

Из рисунка видно, что сечения трубопровода, находящиеся над опорами, при таком движении могут свободно поворачиваться, но максимальные перемещения во всех пролётах одинаковы (при равных пролётах). Следовательно, для анализа работы трубопровода можно ограничиться рассмотрением работы одного пролёта, представив его расчетную схему в виде балки на двух условных шарнирных опорах, препятствующих только вертикальному смещению, с массой, приведенной к середине пролёта (рис. 4,б). Воспользуемся ранее полученным выражением для приведенной массы:

$$m_{np} = 0,493 ml = 0,493 M ,$$

где  $M$  – масса одного пролёта трубопровода. Податливость  $\delta_{11}$  для такой схемы опирания балки была получена ранее  $\delta_{11}^{mp} = l^3/48EI_{mp}$  (табл. 1, схема 1).

Алгоритм дальнейшего расчёта обычный: вычисляем круговую частоту  $\omega_1$ , затем период колебаний  $T_1 = 2\pi / \omega_1$ ; коэффициент динамичности  $\beta(T_1)$ , соответствующий характеристикам грунта основания, и, наконец, величину сейсмической нагрузки  $S_{11}$ . Эпюра моментов в трубопроводе от вертикальной сейсмической нагрузки представлена на рис. 4,б. С учётом равномерно-распределённой нагрузки  $q$  от веса трубопровода максимальный изгибающий момент в сечениях над опорами при движении вниз составит:

$$M_y = M_y^{пост.} + M_y^{сейсм.} = \frac{ql^2}{12} + 0 ;$$

(по этому моменту выполняется проверка прочности трубы в статическом расчёте).

Изгибающий момент в сечениях в серединах пролётов при движении вниз составит:

$$M_y = M_y^{пост.} + M_y^{сейсм.} = \frac{ql^2}{24} + \frac{S_{11}l}{4} ,$$

(здесь статическая составляющая от собственного веса трубы вдвое меньше, чем над опорами, но добавилась динамическая составляющая от вертикальной сейсмической нагрузки).

**Горизонтальные колебания трубопровода при противоположно направленном движении пролётов**

Расчётная схема трубопровода для этого случая показана на рис. 5а.

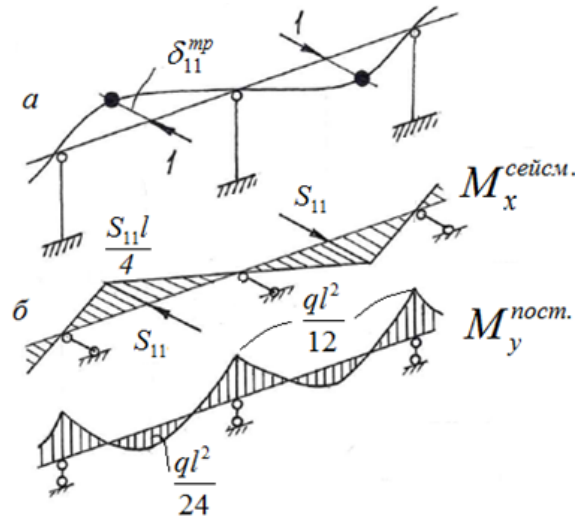


Рис. 5. Горизонтальные колебания трубопровода при противоположно направленном движении пролётов (а) и соответствующие им эпюры моментов (б)

Деформация трубопровода в рассматриваемом случае соответствует первой форме колебаний многопролётной балки. Если стойки в местах опирания на них трубопровода не препятствуют свободному повороту последнего в горизонтальной плоскости, что соответствует опорному узлу, представленному на рис. 6а, крутильных колебаний стоек не будет. В этом случае податливость трубопровода в месте приведенной массы будет определена по формуле, полученной ранее:  $\delta_{11}^{mp} = l^3/48EI_{mp}$ .

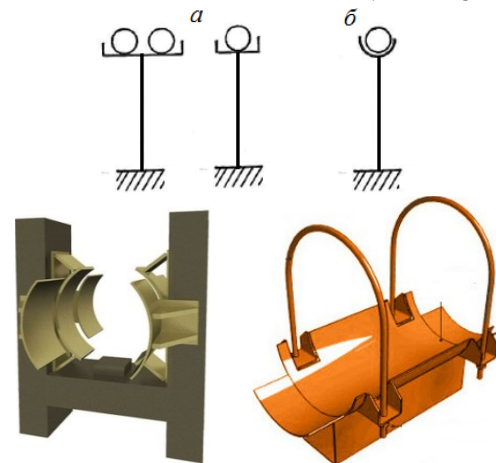


Рис. 6. Варианты опирания трубопровода на стойку

Если опирание трубопровода соответствует рис. 6б, то примыкание опорной конструкции к стойке (сварной шов) должно быть дополнительно рассчитано на срез от момента, создаваемого в горизонтальной плоскости сейсмическими нагрузками  $S_{11}^{**}/2$  с плечом, равным величине пролёта между стойками. В противном случае во время землетрясения трубопровод может соскочить с опор. Для такого случая опирания податливость трубопровода должна



быть вычислена с учётом крутильной деформации стоек:

$$\delta_{11}^{**} = \delta_{11}^{mp} + \delta_{11}^{cm} = l^3 / 48EI_{mp} + \varphi_{cm}(l/2) = l^3 / 48EI_{mp} + [lh/2GI_{\rho,cm}](l/2) = l^3 / 48EI_{mp} + l^2h/4GI_{\rho,cm}.$$

Далее, как обычно, вычисляем круговую частоту колебаний трубопровода по формуле:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{\delta_{11} \cdot m_{np}}}, \text{ или } \omega_1 = \sqrt{\frac{1}{\delta_{11}^{**} \cdot m_{np}}}, \text{ затем период}$$

колебаний  $T_1 = 2\pi / \omega_1$ ; коэффициент динамичности  $\beta(T_i)$ , соответствующий характеристикам грунта основания, и, наконец, величину сейсмической нагрузки  $S_{11}$  или  $S_{11}^*$ . Эпюра моментов в трубопроводе от горизонтальной сейсмической нагрузки  $M_x^{сейсм.}$  представлена на рис. 5,б.

**Проверка прочности трубопровода с учётом горизонтальных и вертикальных колебаний при противоположно направленном движении пролётов.** Изгибающий момент в сечении трубопровода в середине пролёта при учёте вертикальных и горизонтальных сейсмических колебаний, а также собственного веса трубопровода составит:

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2},$$

где  $M_y = M_y^{пост.} + M_y^{сейсм.} = \frac{ql^2}{24} + \frac{S_{11}l}{4}$ ;

$$M_x^{сейсм.} = \frac{S_{11}^*l}{4} \text{ или } M_x^{сейсм.} = \frac{S_{11}l}{4}.$$

Вычислив изгибающие моменты, проверяем прочность трубопровода по нормальным напряжениям:

$$\sigma_{max}^{mp} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{W_{oc}^{mp}} \leq R_y \gamma_c$$

Опорные стойки трубопровода в случае опирания по рис. 6,а работают только на сжатие. Продольная сжимающая сила складывается из опорной реакции двух смежных пролётов трубопровода  $N = ql$ . Сейсмические нагрузки в смежных пролетах направлены противоположно, поэтому продольную силу (и изгибающий момент) в стойке они не создают.

В том случае, если опорный узел трубопровода соответствует рис. 6,б, стойки, помимо продольной силы  $N = ql$ , испытывают также кручение с постоянным по длине стойки кру-

тящим моментом  $M_{кр} = \frac{S_{11}^*l}{2}$ . Эквивалентное напряжение в произвольном сечении стойки от статических и динамических нагрузок определим по третьей гипотезе прочности:

$$\sigma_{cm}^{III} = \sqrt{\left(\frac{N}{A_{cm}}\right)^2 + 4\left(\frac{M_{кр}}{W_{\rho}^{cm}}\right)^2} \leq R_y \gamma_c.$$

Следует отметить, что учёт деформаций сдвига при определении податливости трубопровода уменьшает величину частоты собственных колебаний, что приводит к небольшому завышению периода колебаний.

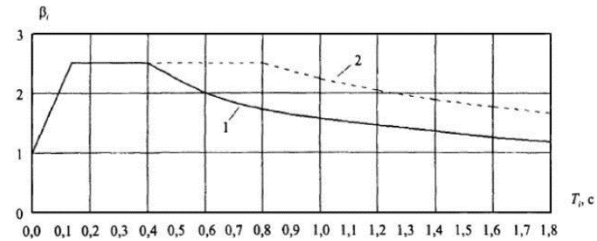


Рис. 7. Графики зависимости коэффициента динамичности от периода собственных колебаний конструкции и грунтов основания в соответствии с [2]

В соответствии с графиком коэффициента динамичности, приведенным на рис. 7, (рис. 2, [2]), при  $T_i \geq 0,4c$  этот факт приведет к некоторому увеличению расчётной сейсмической нагрузки, и, соответственно, к небольшому запасу прочности, а при  $T_i \leq 0,1c$  это будет приводить к занижению реального коэффициента динамичности.

При этом следует также учесть характер графика на восходящем участке, когда за 0,1с приращения периода  $T_i$  коэффициент динамичности увеличивается в 2,5 раза. Однако и тут все зависит от требуемой точности расчета. Несложные вычисления, выполненные автором, показывают, что при увеличении податливости на 5–10 % рост коэффициента динамичности  $\beta_i$  составляет 3,5–7,3%.

**Выводы:** Применение предложенного способа расчета по упрощенной схеме позволяет довольно просто определить поперечные сейсмические нагрузки на магистральный трубопровод методом эквивалентной статической нагрузки по двум первым формам колебаний и соответствующие им внутренние усилия при поперечных колебаниях рассматриваемого трубопровода. Кроме того, предложенный способ расчета поможет быстро оценить результаты используемых компьютерных программ, когда полученные на ЭВМ численные значения сложно подвергнуть умозрительному анализу. К недостаткам предложенного способа следует отнести неучет влияния на внутренние усилия возможного взаимного смещения опор трубопровода при прохождении горизонтальной поперечной сейсмической волны.

#### Список литературы

1. ГОСТ 32388-2013 Трубопроводы технологические. Нормы и методы расчета на прочность, вибрацию и сейсмические воздействия.
2. СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81\* (актуализированного СНиП II-7-81\* «Строительство в сейсмических районах» (СП 14.13330.2011)) (с Изменением N 1).

3. ВСН 2-137-81 Инструкция по проектированию магистральных трубопроводов в сейсмических районах. М., Миннефтегазстрой, 1982.
4. Камерштейн А.Г., Рождественский В.В., Ручимский М.Н. Расчет трубопроводов на прочность. Справочная книга. Изд. 2, перераб. и дополн. М., изд-во «Недра», 1969. 442 с.
5. Шелюфаст В.В., Шахбанов Р., Сухоручко А. Расчеты на сейсмические воздействия трубопроводов АЭС с использованием российской САЕ-системы АРМ WinMachine. САПР и графика. 2014. - № 10. - С. 24 –28.
6. Опоры трубопроводов. <http://www.ecohimtec.ru/Saddles-for-pipelines/sliding/>

© О. Б. Завьялова

**Ссылка для цитирования:**

О. Б. Завьялова. Расчёт магистрального трубопровода на эстакаде на поперечные сейсмические нагрузки по упрощённым расчётным схемам // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 4 (30). С. 16–21.

УДК 620.91

## МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ГРУНТОМ

*И. С. Просвирина, Д. П. Максимова*

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Россия*

При продолжительной работе теплового насоса и использовании грунта, как источника низкопотенциального тепла, температура грунта на глубине отбора тепла постепенно уменьшается и через некоторое время эффективность данной системы снижается, поэтому тепло необходимо компенсировать. Потребляемая энергия позволяет долгое время применять грунт в качестве источника низкопотенциального тепла для испарителей теплонасосных систем теплоснабжения. В данной работе предлагаются методы аккумуляции и сохранения тепла грунтом с помощью автодороги, отражающего экрана и мульчирования. Такие виды интенсификации тепла солнечной энергии позволят накапливать солнечную энергию в теплый период и сохранять ее в холодный период. Для подтверждения эффективности предложенных методов выполнены теоретические и экспериментальные исследования распределения температур грунта после мероприятий по интенсификации тепла солнечной энергии.

**Ключевые слова:** дорожное покрытие, низкопотенциальное тепло, отражающий экран, мульчирование, аккумуляция тепла, солнечная энергия.

## METHODS OF INTENSIFICATION OF SOLAR ENERGY HEAT WITH SOIL

*I. S. Prosvirina, D. P. Maksimova*

*Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russia*

With prolonged operation of the heat pump and the use of soil as a source of low-potential heat, the soil temperature at the depth of heat removal gradually decreases and after a while, the efficiency of this system decreases, so the heat must be compensated. The energy consumption allows a long time to use the soil as a source of low-potential heat for evaporators of heat pump systems of heat supply. In this paper, we propose methods of accumulation and preservation of heat by the soil with the help of roads, reflective screen and mulching. Such types of intensification of heat of solar energy will allow to accumulate solar energy in the warm period and to keep it in the cold period. To confirm the effectiveness of the proposed methods, theoretical and experimental studies of the distribution of soil temperatures after measures to intensify the heat of solar energy were performed.

**Keywords:** road surface, low-potential heat, reflective screen, mulching, heat storage, solar energy.

Грунт – это тепловой аккумулятор большого объема, накапливающий тепло солнечной энергии, которая восполняется в течение теплого периода года. При этом изменение температуры слоев грунта задерживается во времени относительно колебаний температуры наружного воздуха, и остаются положительными в течение всего холодного периода года [1].

При отборе тепла с грунта в качестве использования его как источника низкопотенциального тепла, температура грунта в месте укладки теплообменника снижается, и чтобы ее увеличить, необходимо это тепло возмещать [2]. Компенсировать тепло солнечной энергии и тем самым увеличить температуру грунта на глубине отбора тепла грунтовым теплообменником возможно методами аккумуляции тепла грунтом и интенсификации им количества поглощаемого тепла солнечной энергии с помощью дорожного покрытия, алюминиевого экрана и мульчматериалов (соломой и картоном).

### Метод интенсификации тепла солнечной энергии дорожным покрытием

Принцип работы грунтового теплового насоса в следующем [3]. В траншее прокладывается горизонтальный внешний контур (теплообменник), который собирает тепловую энергию, сверху укладывается многослойная конструкция дороги. По трубам теплоноситель попадает в испаритель, за счет чего хладоноситель начинает кипеть и в конденсаторе поднимается температура, затем по распределительной системе идет обогрев в доме, по которой циркулирует вода (рис. 1).

Результаты теоретического определения падения температуры грунта на глубине заложения грунтового теплообменника за время работы теплового насоса показаны на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что падение температуры грунта малозначительно в первые пять лет, а затем происходит резкое понижение в логарифмической зависимости, в связи с чем возникает необходимость восстановления темпе-