

УДК 621.642.07

ОПТИМИЗАЦИЯ ШАГА НЕСУЩИХ БАЛОК ПОКРЫТИЙ АЗС ДЛЯ НЕРЕГУЛЯРНОГО ПЛАНА ЗДАНИЙ

Ханбиков Д.Ф.¹, Семенов А.А.²

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа
e-mail: ¹big-han@mail.ru, ²asfugntu@yandex.ru

Аннотация. Растущие требования к архитектуре зданий и сооружений городской застройки затрагивают не только жилые и общественные здания, но и объекты нефтегазового комплекса, находящиеся на территории городов. Характерными представителями таких объектов являются автозаправочные станции (АЗС). Данные сооружения отличаются небольшими габаритными размерами и имеют разнообразные формы в плане. Детальный анализ создания конструктивных схем покрытий и перекрытий подобных сооружений может привести к экономичным решениям и имеет определенную актуальность. В статье проведен теоретический и численный анализ несущих металлических элементов перекрытий и покрытий зданий с нерегулярным планом, решенный в виде балочной схемы из металлических конструкций.

Ключевые слова: нерегулярный план, топология, балки, АЗС

Введение

Многообразие архитектурных форм планов зданий ведет к поиску наиболее оптимальных решений создания перекрытий и покрытий этих объектов [4]. Среди объектов нефтяной и газовой промышленности, располагаемых в среде плотной городской застройки, можно выделить автозаправочные комплексы. Архитектурные и технологические требования позволяют отнести их к классу зданий с нерегулярным планом (рис. 1, 2).



Рис. 1. Автозаправочные комплексы «ЛУКОЙЛ»



Рис. 2. Автозаправочные комплексы «БАШНЕФТЬ»

Для этих объектов применение произвольных форм в плане не представляется затруднительным в связи с небольшими габаритными размерами самого здания.

В рассматриваемых сооружениях при «неправильном» (непрямоугольном) плане зданий операторной, навесов над заправочными островками основной конструктивной системой покрытия является балочная клетка [3], состоящая из главных и вспомогательных балок, по которым устраивается кровельное покрытие. Задача поиска рациональных (оптимальных) параметров несущих элементов покрытия на нерегулярном плане может быть рассмотрена в двух вариантах [1]:

1. Равномерный шаг главных балок переменной пролета (разных сечений) с равными параметрами балок настила.
2. Поиск шагов несущих балок с равными изгибающими моментами с неравными параметрами балок настила. Этот вариант по сравнению с равномерным шагом имеет следующие преимущества:
 - применение одинаковых сечений балок во всем перекрытии (покрытии);
 - сокращение числа несущих балок.

Основная часть

Предложенные варианты конструктивных решений целесообразно представить в виде плана с трапециевидальной формы (рис. 3). Следует отметить, что любая произвольная форма плана здания может быть описана совокупностью трапециевидальных участков, вписанных в исходный контур.

Для поиска шага балок с равными максимальными моментами выразим параметры задачи математическими зависимостями.

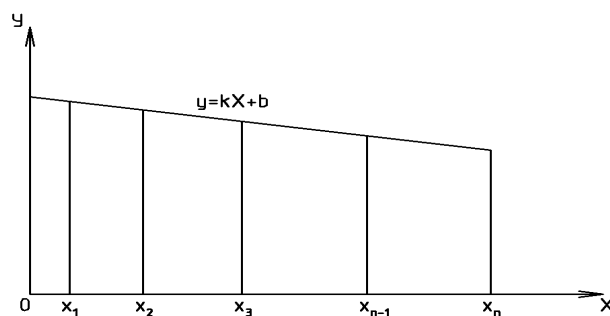


Рис. 3. Схема расположения балок с равными моментами в общем виде

Для определения количества балок на определенном участке воспользуемся формулой определения расчетного момента

$$M = \frac{x_{n+1} - x_{n-1}}{2} P \frac{y_n^2}{8}, \quad (1)$$

где M – максимальный изгибающий момент, тс×м;

P – нагрузка на покрытие здания тс/м²;

y – длина балки в точке n , м;

x – точки расположения балок, м.

Найдем сумму моментов в балках

$$nM = \sum_{i=1}^n \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{2} P \frac{y_i^2}{8}. \quad (2)$$

Выразив $\frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{2} = \Delta x_k$, получим

$$nM = \sum_{k=1}^n \Delta x_k P \frac{y_i^2}{8} = \int_{x_{1/2}}^{(x_{n+1}-x_n)/2} P \frac{y^2(x)}{8} dx, \quad (3)$$

Выразив $\frac{x_{n+1} - x_n}{2} = z$, то количество балок на участке будет

$$n = \int_{x_{1/2}}^z P \frac{y^2(x)}{8M} dx = \frac{P}{8M} \int_{x_{1/2}}^z y^2(x) dx. \quad (4)$$

Задавшись первоначальным x_1 и приняв величину z конечной точкой рассматриваемой области определим количество необходимых балок с равными моментами на исследуемом промежутке.

Таким образом, вычислив необходимое количество балок и решив систему из n уравнений вида:

$$x_i = \frac{16M}{Py_{i-1}^2} - x_{i-2}, \quad i = 1 \dots n, \quad (5)$$

определим точное положение чисел x_1 и z .

Ряд расположения балок, выраженный формулой (5), представляет собой хаотичный ряд, зависящий от первоначального значения x_1 , для упрощения работы с системой уравнений примем, что $x_2 = 2x_1$.

Теоретическое исследование массы балок

Для определения массы балок покрытия необходимо найти значения требуемых моментов сопротивления элементов.

1. Для варианта с равными расчетными моментами сопротивления балок воспользуемся формулой расчета изгибаемых элементов:

$$M = RW, \quad (6)$$

где W – требуемый момент сопротивления сечения (балки);

R – расчетное сопротивление материала.

Общий требуемый момент сопротивления для балок покрытия с равными моментами на определенном промежутке можно выразить следующей формулой:

$$\begin{aligned} W^n &= \sum_{i=1}^n W_i^n = \sum_{i=1}^n \frac{P \Delta x_i y^2(x_i)}{8R} = \int_{x_{1/2}}^z \frac{P y^2(x)}{8R} dx = \\ &= \int_{x_{1/2}}^z P \frac{(b-kx)^2}{8R} dx = \frac{P}{24} R (b-kx)^3 \Big|_{x_{1/2}}^z \end{aligned} \quad (7)$$

2. Определение требуемого момента сопротивления сечения при равном шаге вычисляется также по формуле (7).

Определим относительную разницу при выборе вариантов расположения балок:

$$\frac{W^n_1}{W^n_2} = \frac{y^3(x_{1/2}) - y^3(z)}{y^3(x'_{1/2}) - y^3(z')} \quad (8)$$

Учитывая, что x'_1 и x_1 близки друг к другу, можно представить соотношение [8] следующим образом:

$$\frac{W^n_1}{W^n_2} = \frac{y^3(x_{1/2}) - y^3(z)}{y^3(x'_{1/2}) - y^3(z')} = 1 - \frac{y^3(z) - y^3(z')}{y^3(x'_{1/2}) - y^3(z')} \quad (9)$$

Расстояние между точками z и z' имеет гораздо меньшее значение чем между точками x_1 и z' , в связи с чем разница требуемых моментов сопротивления будет незначительна.

Проведен анализ зависимостей площади сечения изгибаемых элементов от момента сопротивления сечения. При этом рассмотрены швеллера и двутавры, как основные элементы балочных клеток.

Критерием экономичности профилей, работающих на поперечный изгиб, является безразмерный удельный момент сопротивления [2]:

$$\omega = \frac{W^2}{A^3}, \quad (10)$$

где A – площадь поперечного сечения элемента.

Введем параметр $\beta = 1/\omega$.

Зависимость величины β от момента сопротивления сечения W для различных профилей проката представлены на рис. 4, 5.

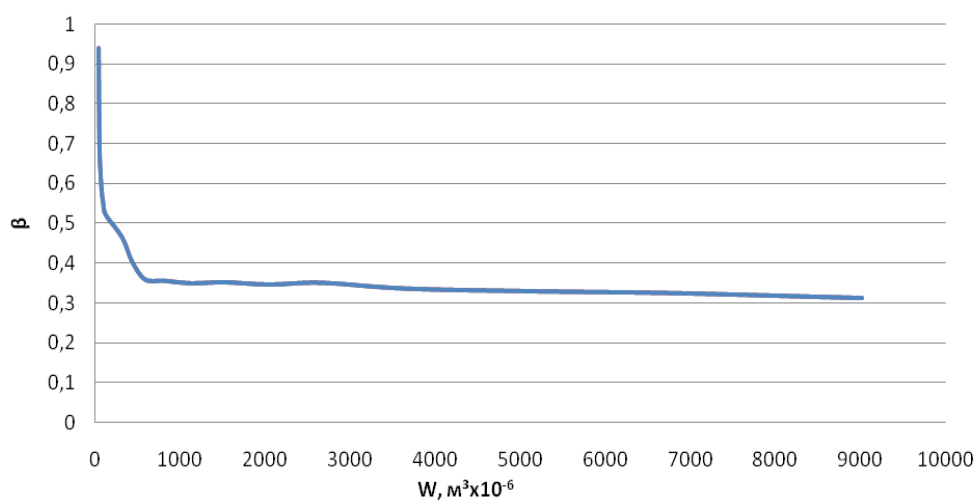


Рис. 4. Изменение коэффициента β от момента сопротивления для двутавра по ГОСТ 26020-83

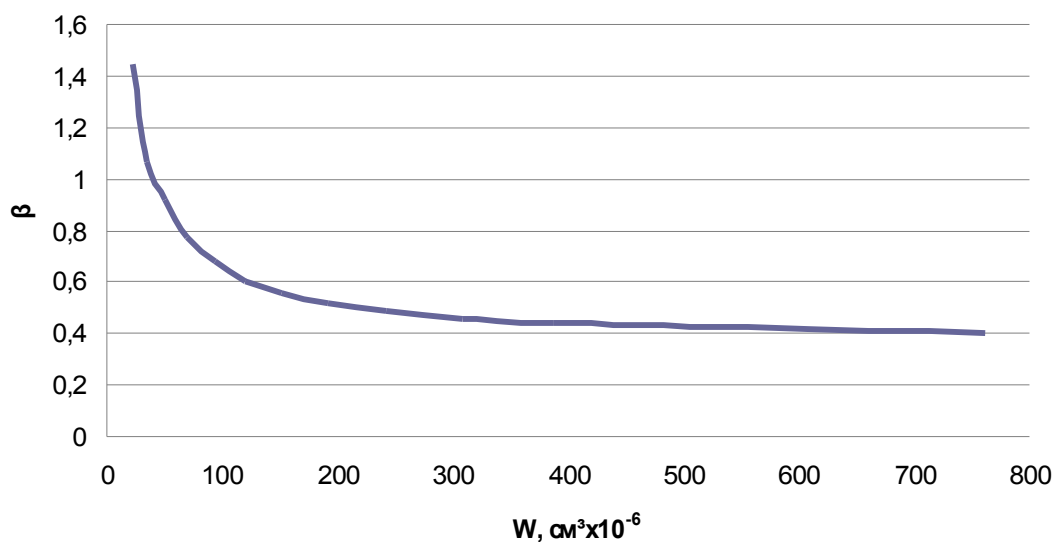


Рис. 5. Изменение коэффициента β от момента сопротивления для швеллеров по ГОСТ 8240-97

Зависимости носят нелинейный гиперболический характер. Чувствительность кривых имеет место при незначительных величинах ($50 - 250 \text{ см}^3$) момента сопротивления сечения. Интересным представляется именно этот участок, соответствующий сравнительно небольшим пролетам и нагрузкам для решения задачи оптимизации металлоемкости несущих элементов покрытий и перекрытий зданий на нерегулярном плане.

Экспериментальное численное исследование массы балок

Численные исследования проводились на примере двух зданий с трапецидальной формой в плане ограниченной прямой $y = 12 - 0,3x$ для здания 1 и $y = 8 - 0,1x$ для здания 2. Расположение балок покрытия для рассматриваемых вариантов на рис. 6 - 9.

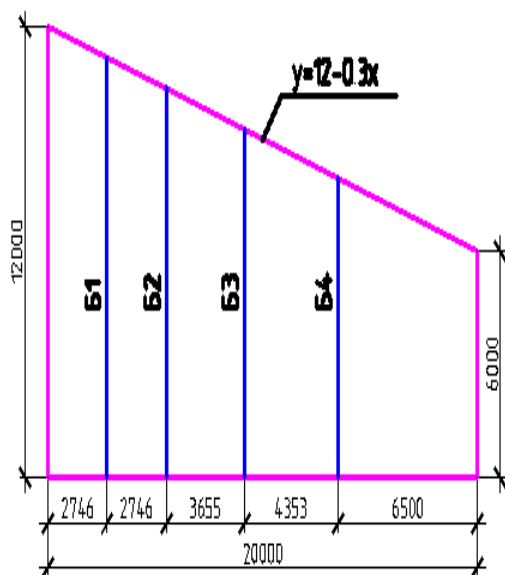


Рис. 6. Схема расположения балок с равными расчетными моментами (здание 1, размеры в мм)

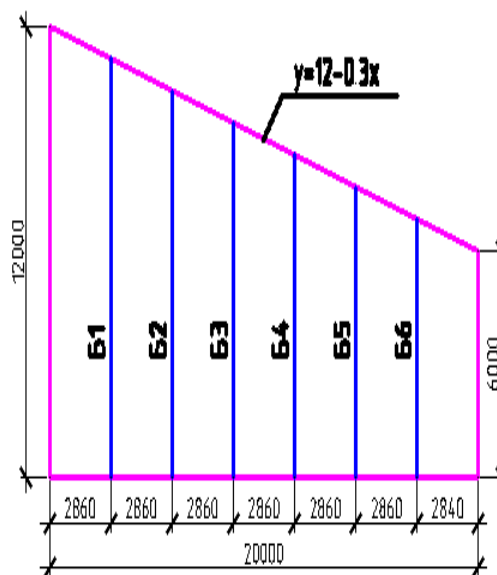


Рис. 7. Схема расположения балок с равномерным шагом (здание 1, размеры в мм)

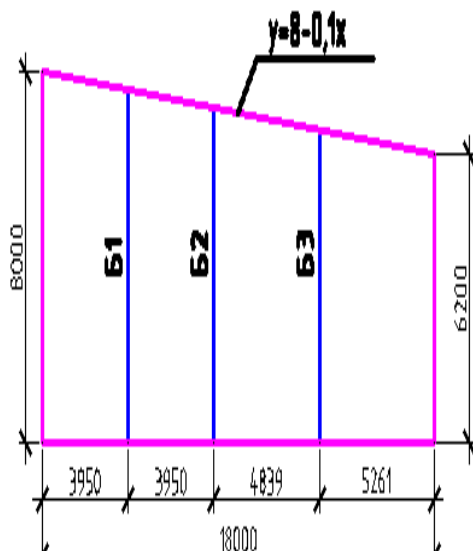


Рис. 8. Схема расположения балок с равными расчетными моментами (здание 2, размеры в мм)

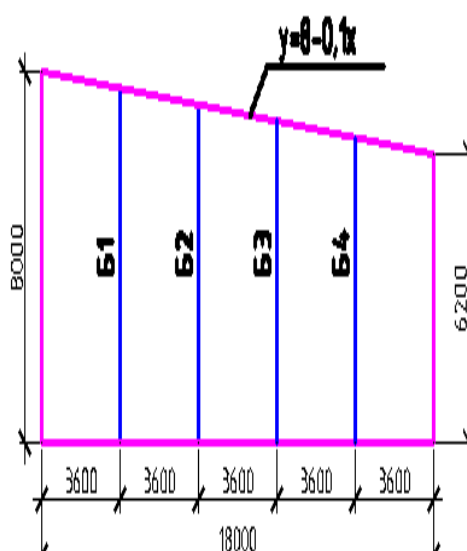


Рис. 9. Схема расположения балок с равномерным шагом (здание 2, размеры в мм)

В здании 1 принята нагрузка на покрытие равная $4,2 \text{ кН/м}^2$ (снеговая нагрузка V-го района $3,2 \text{ кН/м}^2$ [5] и расчетная нагрузка от кровли $1,0 \text{ кН/м}^2$), в здании 2 – $1,1 \text{ кН/м}^2$ (снеговая нагрузка I-го района $0,8 \text{ кН/м}^2$ и расчетная нагрузка от кровли $0,3 \text{ кН/м}^2$). Сечение балок из швеллеров по ГОСТ 8240-97. Численные значения основных показателей вариантов приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Результаты расчетов для здания 1

Балки	Балки с равным расчетным моментом				Балки с равным шагом			
	Расчетный момент, $\text{м}^3 \times 10^{-6}$	Требуемый момент сопротивления, $\text{м}^3 \times 10^{-6}$	профиль	Масса, кг	Расчетный момент, $\text{м}^3 \times 10^{-6}$	Требуемый момент сопротивления, $\text{м}^3 \times 10^{-6}$	профиль	Масса, кг
Б1	18,0	735,0	40	539,8	18,64	760,8	40	538,2
Б2	18,0	735,0	40	500,0	15,88	648,2	40	496,7
Б3	18,0	735,0	40	447,1	13,34	544,5	36	394,9
Б4	18,0	735,0	40	384,0	11,02	449,9	33	312,7
Б5					8,93	364,3	30	245,2
Б6					7,05	287,7	27	189,8
ИТОГО				1870,9				2177,5

Таблица 2. Результаты расчетов для здания 2

Балки	Балки с равным расчетным моментом				Балки с равным шагом			
	Расчетный момент, $\text{м}^3 \times 10^{-6}$	Требуемый момент сопротивления, $\text{м}^3 \times 10^{-6}$	профиль	Масса, кг	Расчетный момент, $\text{м}^3 \times 10^{-6}$	Требуемый момент сопротивления, $\text{м}^3 \times 10^{-6}$	профиль	Масса, кг
Б1	3,141	128,2	20	139,9	2,889	117,9	20	140,6
Б2	3,141	128,2	20	132,7	2,623	107,1	18	118,7
Б3	3,141	128,2	20	123,8	2,370	96,8	18	112,8
Б4					2,130	86,9	16	93,5
ИТОГО				396,4				465,5

Масса несущих элементов для зданий 1 и 2 в варианте с равными моментами меньше на 16 % и 17,5 % соответственно по сравнению с массой балок при их равномерном шаге. Таким образом, оптимальным вариантом по металлоемкости несущих конструкций является вариант с шагом балок при котором расчетные изгибающие моменты будут равны.

Вариант с равными усилиями не является оптимальным при значительных нагрузках и пролетах несущих элементов. Так для конструкции кровли для здания 1 конструктивными требованиями будут являться введение дополнительных балок в связи с ограничениями, связанными при выполнении кровли из профилированного настила (максимальный пролет для профнастила высотой 114 мм при нагрузке в $4,2 \text{ кН/м}^2$ составляет 4 м). Для данного примера введение дополнительных балок (прогонов П1, П2), представленных на рис. 10, увеличивает металлоемкость покрытия на 322 кг (табл. 3), что приближает их значения, разница составляет 0,6 %. Таким образом на оптимальный вариант расположения несущих элементов оказывает влияние жесткость конструктивных требований конструкции покрытия. При снижении данных требований или же их отсутствии, оптимальным вариантом будет являться равномоментное расположение несущих конструкций, что подтверждают результаты табл. 2.

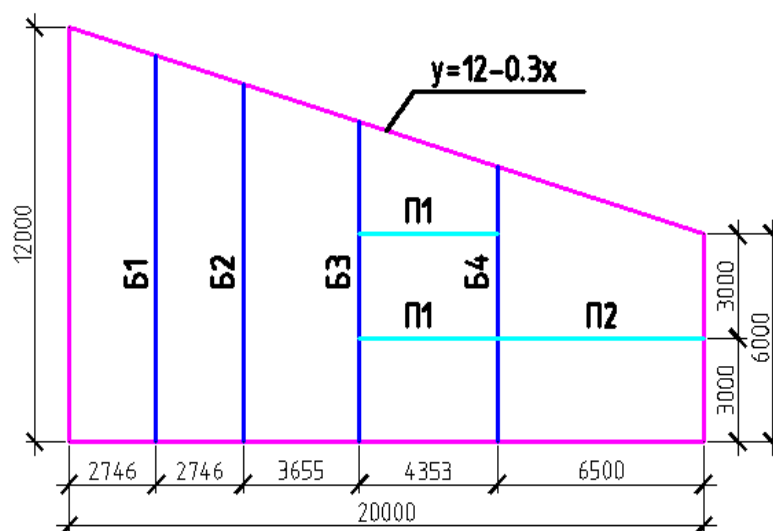


Рис. 10. Схема расположения дополнительных прогонов здания 1 (размеры в мм)

Табл. 3. Результаты расчетов для здания 1 с учетом конструктивных требований

Элементы	Балки с равным расчетным моментом		Балки с равным шагом	
	профиль	Масса, кг	профиль	Масса, кг
Основные балки	40	1870,9	Различный	2177,5
Дополнительные прогоны, в т.ч.		321,6		-
П1	18	141,6		-
П2	27	180,0		-
ИТОГО		2191,1		2177,5

Основные выводы

Проведенные численные исследования металлоемкости плоских покрытий зданий на нерегулярных планах позволили сделать следующие выводы:

– рассмотренные варианты конструктивных решений покрытий (перекрытий) балочных клеток нерегулярного плана здания не дают однозначного вывода об оптимальности по критерию металлоемкости несущих элементов;

– проведенные исследования показали, что параметром оптимизации становятся нагрузки на покрытие (перекрытие) и габариты здания;

– для зданий АЗС, характеризуемых сравнительно небольшими размерами в плане, задача поиска оптимальной топологии расположения несущих элементов решается по критерию равномоментности балок.

– для зданий с нерегулярным планом при значительных нагрузках и пролетах балок наиболее выгодным с точки зрения металлоемкости является вариант с равным шагом основных несущих конструкций.

Литература

1. Бузало Н.А. Возможный вариант решения задачи оптимизации металлических конструкций // Теория и практика металлических конструкций: Междунар. конф. сб. тр. Т. 2. Донецк: Макеевка, ДГАСА, 1997. С. 107-109

2. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. М.: Стройиздат, 1979. 319 с.

3. Пермяков В.А., Перельмутер А.В., Юрченко В.В. Оптимальное проектирование стальных стержневых конструкций. Киев: «Сталь», 2008. 538 с.

4. Семенов А.А., Ханбиков Д.Ф. Вопросы оптимизации стержневых систем на нерегулярных планах зданий // Жилищное строительство. 2009. № 6. С. 23 - 25.

5. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия (актуализированная редакция СНиП 2.01.07 – 85*). М.: Минрегион России, 2010. 80 с.

OPTIMIZATION STEP BEARING BEAMS COATING PETROL STATION FOR IRREGULAR PLAN BUILDING

D.F. Khanbikov, A.A. Semenov

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

Abstract: *Increasing demands on the architecture of the buildings and structures of urban development affected not only residential and public buildings, but also objects of oil and gas complex, located in the territory of the city. Typical representatives of such objects are petrol stations (gas stations). Data structures are small dimensions and have a variety of forms in the plan. A detailed analysis of the establishment of constructive schemes of roofings and floorings of such structures can lead to economical solutions and has a certain relevance. Article held theoretical and numerical analysis of bearing metal elements coatings and floorings of buildings with irregular plan, settled in the form of computing schema from metal structures.*

Keywords: *irregular plan, topology, beams, petrol station*

References

1. Buzalo N.A. Vozmozhnyi variant resheniya zadachi optimizatsii metallicheskikh konstruksii (A possible solution of the optimization problem of metal structures) in *Teoriya i praktika metallicheskih konstruksii: Mezhdunar. konf. sb. tr. (Proceedings of intern. conf. "Theory and practice of metal structures")*. Donetsk: Makeevka, DGASA, 1997. PP. 107-109
2. Likhtarnikov Ya.M. Variantnoe proektirovanie i optimizatsiya stal'nykh konstruksii (Variant design and optimization of steel structures). Moscow: Stroiizdat, 1979. 319 p.
3. Permyakov V.A., Perel'muter A.V., Yurchenko V.V. Optimal'noe proektirovanie stal'nykh sterzhnevykh konstruksii (Optimal design of steel beam structures). Kiev: Stal', 2008. 538 p.
4. Semenov A.A., Khanbikov D.F. Voprosy optimizatsii sterzhnevykh sistem na neregulyarnykh planakh zdanii (The optimization of beam systems on irregular floor plans), *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2009, Issue 6, pp. 23 - 25.
5. SP 20.13330.2011. Nagruzki i vozdeistviya (Loads and impacts. Updated edition of SNIIP 2.01.07 – 85*). Moscow: Ministry of regional development, 2010. 80 p.