

## Раздел 2. Строительство

УДК 624.01

### ПРИМЕНЕНИЕ НЕИЗВЛЕКАЕМЫХ ТРУБЧАТЫХ ПУСТОТООБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ЛЁГКИХ БЕТОНОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДАНИЯ.

Пушкарев Б.А.<sup>1</sup>,

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,  
Институт «Академия строительства и архитектуры»,  
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181.,  
e-mail: boris\_pushkarev@mail.ru

**Аннотация.** В статье приведены примеры зданий и сооружений, удачно и неудачно спроектированные и построенные, показаны характерные их особенности, проанализированы публикации, обосновывающие необходимость снижения веса конструкций; снижение расположения центра тяжести масс, применение конструктивных решений самого здания способных противодействовать сейсмическому воздействию. Приведен пример конструирования и расчёт двух вариантов конструкций двенадцатиэтажного жилого здания различной массы с применением тяжёлого и лёгкого бетонов и неизвлекаемых картонно-полиэтиленовых пустотообразователей круглого сечения диаметром 159 мм, как один из способов, направленного на снижение сейсмического воздействия. На основании выполненных исследований сделан вывод о целесообразности применения неизвлекаемых пустотообразователей в сочетании с лёгким бетоном для снижения массы железобетонных конструкций и тяжёлого бетона для снижения центра тяжести здания, и как следствие снижения сейсмического воздействия.

**Предмет исследования.** Предметом исследования является снижение массы железобетонных конструкций зданий и их центра тяжести, а также конструирование самого здания в сейсмических зонах.

**Материалы и методы.** Для снижения массы железобетонных конструкций выполнено конструирование каркаса и расчёт центра тяжести двенадцати этажного жилого дома в двух вариантах - первый вариант: применение тяжёлого железобетона полностью  $2,5 \text{ т/м}^3$  и сплошных плит перекрытия толщиной 22 см; второй вариант применение тяжёлого железобетона плотностью  $2,5 \text{ т/м}^3$  для перекрытия подвала и нижних четырёх этажей остальные верхние этажи с применением лёгкого железобетона плотностью  $1,7 \text{ т/м}^3$  и неизвлекаемых картонно-полиэтиленовых пустотообразователей диаметром 159 мм для плит перекрытия. Обоснованы возможность, целесообразность и применение конструирования здания по второму варианту.

**Результаты.**

- 1) Снижение центра тяжести здания на **16,3%**.
- 2) Снижение массы здания при сохранении нормативных нагрузок: **20,5%**.
- 3) Совокупное снижение массы железобетонных элементов **30,7%**.

**Выводы.** Предложенное конструирование монолитного двенадцатиэтажного жилого здания с применением тяжёлых бетонов на нижних этажах и лёгких бетонов в совокупности с неизвлекаемыми картонно-полиэтиленовыми трубчатыми пустотообразователями круглого сечения диаметром 159 мм на верхних этажах, обеспечивающее значительное снижение массы и центра тяжести здания является возможным и целесообразным способом для строительства в сейсмически опасных регионах.

**Ключевые слова:** конструирование, здание, лёгкие и тяжёлые бетоны, пустотообразователи.

## ВВЕДЕНИЕ

Сейсмическое воздействие на здания или сооружения по-прежнему является грозным природным явлением. С древних времён и по настоящее время люди искали способы возведения зданий и сооружений способных противодействовать сейсмическому воздействию. Примерами удачных способов могут служить формы пирамид народов Майя и Египта (рис.1 и (рис. 2), знаменитая Эйфелева башня (рис. 3), в Москве Останкинская телевышка (рис. 4), Кремлёвская башня (Рис. 5), здание МГУ (рис. 6). Объединяет все эти объекты конструктивное решение по снижению расположения их центра тяжести. Отрицательным примером конструирования зданий являются здания, подвергшиеся сильному сейсмическому воздействию на Тайване 21 сентября 1990 г., и хотя эти здания были изготовлены из высокопрочных материалов, катастрофы избежать им не удалось,

(рис. 7). Совсем недавно 6 февраля 2023 г. сильное землетрясение произошло в Турции магнитудой 7,8, принесшее большие разрушения и множество жертв (рис. 8).

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ.

В последние годы исследователи много уделяют внимание проблеме снижения сейсмического воздействия на высотные здания и сооружения, примерами могут служить многочисленные статьи и изобретения, например: «Методы сейсмогашения, и сейсмоизоляции с применением специальных устройств», авторы М.А. Вискребенцева, Ву Ле Куен. Инженерный вестник Дона №1(2019) – в данной публикации рассмотрены методы сейсмогашения и сейсмоизоляции, отмечена необходимость изменения веса конструкций и их жёсткости.[1].



**Рис. 1.** Пирамида Майя  
**Fig. 1.** The Mayan Pyramid



**Рис. 2.** Пирамида Хеопса в Египте.  
**Fig. 2.** The Pyramid of Cheops in Egypt.



**Рис. 3.** Эйфелева башня в Париже.  
**Fig. 3.** Eiffel Tower in Paris.



**Рис. 4.** Останкинская телебашня в Москве.  
**Fig. 4.** Ostankino TV tower in Moscow.



**Рис. 5.** Спасская башня  
**Fig. 5.** Spasskaya Tower



**Рис. 6.** Здание МГУ.  
**Fig 6.** The Moscow State University building.



**Рис. 7.** Землетрясение на Тайване. 21 сентября 1990 года  
**Fig. 7.** Earthquake in Taiwan. September 21, 1990



**Рис. 8.** Землетрясение в Турции, 6 февраля 2023 года.  
**Fig 8.** Earthquake in Turkey, February 6, 2023.

В.А. Тарасов, М.Ю. Барановский, А.В. Редькин, Е.А. Соколов, А.С. Степанов. // Системы сейсмоизоляции, – Строительство уникальных зданий и сооружений, ISSN 2304-6295/ 4 (43)/ 11.7.2016 – 140 с. в аннотации статьи отмечено «Не всегда выгодно и рационально повышать сейсмостойкость строительных конструкций или фундаментов под оборудование путём простого повышения прочности, повышение прочности конструкций ведёт к увеличению их массы, повышению и, как следствие к увеличению инерционных сейсмических нагрузок [2]. «Инженерные методы по снижению сейсмического риска зданий и сооружений», автор Б.С. Ордобаев в статье Civil Security technology. Vol. 2013 No. 4 (38) – отмечает «Сейсмостойчивость объекта, прежде всего, зависит от его высоты, его веса в целом, конструктивной системы, которая принимает на себя сейсмическое воздействие - на сегодняшний день не существует технологии и строительного материала, которые на 100 % могли бы противостоять самому сильному землетрясению. Создавать инновационные технологии и материалы в сейсмостойком строительстве – задача учёных, инженеров и строителей»[3]. Результаты исследований в этом направлении отражены в работах [4÷14].

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящего исследования является разработка способа снижения сейсмического воздействия на монолитные здания путём снижения веса здания и его центра тяжести. Для достижения цели поставлены следующие задачи: выполнение конструирования здания, применяя при этом тяжёлый и лёгкий бетоны а также неизвлекаемые трубчатые пустотообразователи круглого сечения [11],

## ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Требуется: определить величины снижения веса здания – вариант 1и центра тяжести облегчённого здания вариант 2 Ниже приводятся два варианта конструирования монолитного железобетонного двенадцати этажного жилого здания плюс техэтаж, размеры здания в плане 13,1×37.1 м, высота этажа 3 м, техэтажа 2 м, плюс 1 м ограждение кровли. Сетка колонн в плане здания принята 6×6м. Схема плана здания изображена на рисунке 9.

### Вариант №1

Рассчитываем массы элементов каждого этажа и заносим результаты в таблицу №1.

Этажи 1-12 + железобетонные элементы здания конструируем из тяжёлого бетона массой 2500 кг/м<sup>3</sup>, за исключением бетона ограждающей наружной стены по периметру здания, которая изготавливаются из железобетона плотностью 1,2 т/м<sup>3</sup>. Плотность стяжки под полы принимаем 2,4

т/м<sup>3</sup>, полы паркетные, принимаем плотностью 0,6 т/м<sup>3</sup>.

Определяем площади элементов здания.

Ширина внутреннего периметра здания 12+0,5= 12,5 м.

Длина внутреннего периметра здания 36+0,5= 36,5 м.

Площадь ограниченная внутренним периметром здания оставляет: 36,5×12,5=456,25 м<sup>2</sup>.

Площадь сечения колонн здания 0,5×0,5×21=5,25. Здесь 0,5×0,5 = 0,25 м<sup>2</sup> размеры сечения колонны, 21 – количество колонн на этаже.

**Принимаем площадь лестничной клетки** с лестничными площадкам, маршами и лифтами 73,5 м<sup>2</sup>

**Определяем площади перекрытий здания:**

**Площадь плиты перекрытия техэтажа:** 456,25 – 1,5 = **454,75м<sup>2</sup>** Здесь 456,25– внутренняя площадь этажа здания, 1,5 м<sup>2</sup> - площадь будки выхода на крышу.

**Площадь плиты перекрытия двенадцатого этажа:** 456,25 - 20-1,5 – 5,25=**429,5 м**. Здесь 456,25 – внутренняя площадь этажа здания, 20 площадь лифтовых шахт, 1,5 – площадь люка выхода на техэтаж, 5,25 площадь сечения колонн, **Площадь плит перекрытий 1÷11 этажей:** 456,25-73,5-5,25=**377,5 м<sup>2</sup>**. Здесь 73,5 – площадь лестничной клетки с лифтами, 5,25 площадь сечения колонн.

**Площадь плиты перекрытия подвала** 456,25 – 20=**436,25 м<sup>2</sup>**.

**Площадь полов лестничной клетки над подвалом** 20 м<sup>2</sup>.

**Колонны.** Объём колонны: = 05×0,5×3= 0,75 (м<sup>3</sup>) и тогда её масса составит 0,75 ×2,5 = **1,875 т**, здесь 3 высота этажа в метрах, 2,5 плотность железобетона. На этаж масса колонн составит 1,875×21=**39,375 (т)**, здесь 21 – общее количество колонн на этаже.

**Масса колонн техэтажа** составит 39,375:3×2=**26,25 т**, здесь 3 высота колонны этажей, 2 высота техэтажа.

**Ригели.** Определяем массу ригелей на этаж и техэтаж 0,5×0,23×5,5×2,5×32=**50,6**, здесь **0,5** ширина ригеля **0,23** толщина ригеля, **5,5** длина ригеля, **2,5** плотность железобетона, 32 количество ригелей на этаже.

**Масса мозаичного пола** под лестничной клеткой на первом этаже 20×0,4×2,4=1,92, здесь 20 площадь пола, 2,4 плотность мозаичного пола.

**Масса лестничной клетки** 1÷11 этажей при плотности железобетона 2,5 т/м<sup>3</sup> составит (73,5-20)×0,22×2,5=**29,425т**, здесь 73,5 общая площадь лестничных клеток на этаже, 0,22 толщина лестничных площадок и маршей, 20 – площадь лифтовых шахт.

**Масса плит перекрытия этажей.** **Масса плиты перекрытия техэтажа:** 454,75×0,22×2,5= **250,113т**, здесь 0,22 толщина сплошной плиты перекрытия, 2,5 масса одного м<sup>3</sup> железобетона. **Масса плиты перекрытия 12-го этажа.** 429,5×0,22× 2,5 =**236,225 т**. Здесь 429,5 – площадь плиты перекрытия

двенадцатого этажа. 0,22 толщина плиты перекрытия, 2,5 масса одного м<sup>3</sup> железобетона.

**Масса перекрытия жилых помещений 1÷11-го этажей**  $377,25 \times 0,22 \times 2,5 = 207,488$  т. Здесь 0,2 толщина сплошной плиты перекрытия этажа, 2,5 плотность железобетона плиты перекрытия в тоннах.

Масса перекрытия этажа над подвалом  $436,25 \times 0,22 \times 2,5 = 239,938$  т.

**Определяем массу стен лифтовой шахты на этаж**  $(\sqrt{5} \times 4 \times 3 - 2,6) \times 4 \times 0,2 \times 2,5 = 48,464$  т. Здесь  $\sqrt{5} = 2,236$  – длина одной стены лифтовой шахты в метрах, 4 количество лифтовых стен, 3 высота этажа здания, 2,6 – площадь двери лифта, 0,2 толщина стен лифта, 2,5 плотность железобетона.

**Масса стен лифтовой шахты техэтажа равна:**  $48,464 \times 3 \times 2 =$  т.

Цементная выравнивающая стяжка под паркетные полы двенадцатого этажа  $377,5 \times 0,03 \times 2,4 = 27,18$  (т).

**Мозаичные полы** по лестничным клеткам 1÷11 этажа  $(73,5 - 20) \times 0,04 \times 2,4 = 5,136$  т.

**Цементная** выравнивающая стяжка под паркетные полы на 1÷12 этажи  $0,03 \times 377,5 \times 2,4 = 27,18$  т.

**Объём паркета на** полы 1÷12 этажа  $377,5 \times 0,015 = 5,653$  т, и его масса при плотности паркета 0,6 т/м<sup>3</sup> равна  $5,653 \times 0,6 = 3,398$  т.

**Итого масса** полов двенадцатого этажа  $27,18 + 3,398 = 30,578$  т, здесь 27,18 цементная выравнивающая стяжка, 3,398 масса паркета,

**Итого масса** полов 1÷11 этажей равна  $27,18 + 3,398 + 5,136 = 35,714$  т, здесь 27,18 цементная выравнивающая стяжка, 3,398 масса паркета, 5,136 масса мозаичных полов по лестничным клеткам объёмным весом 2,4 т/м<sup>3</sup>.

**Утеплитель** керамзит толщиной 16 см с объёмным весом 400 кг/м<sup>3</sup> на техэтаже по перекрытию 12-го этажа,  $16 \times 0,4 \times 429,5 = 27,488$  (т). **Утеплитель** керамзит толщиной 0,12 м с объёмным весом 0,4 т/м<sup>3</sup> по перекрытию подвала  $436,25 \times 0,12 \times 0,4 = 20,94$  т.

× **Нормативные нагрузки** принимаем в соответствии с СП 20.13330.2011 ИН нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СН2.01.07 – 85\*.

На жилые помещения 1 ÷ 12 этажей  $377,5 \times 0,15 = 56,625$  т.

На техэтаж  $454,75 \times 0,7 = 31,833$  т.

На перегородки 1÷12 этажа  $377,5 \times 0,075 = 29,063$  т.

На лестничные клетки  $(73,5 - 20) \times 0,3 = 16,05$  т.

**Итого на двенадцатый этаж**  $56,625 + 29,063 = 85,688$ .

**Итого на 1÷11 этаж**  $56,625 + 29,063 + 16,05 = 101,738$  т.

**Масса диафрагм жёсткости на этаж с**

**1-го по 12-й этаж** равна  $3 \times 5,5 \times 0,15 \times 4 \times 2,5 = 24,75$  т. Здесь 3 м высота диафрагмы, 4 количество диафрагм жёсткости, 5,5 м – длина диафрагмы жёсткости, 0,15 м – толщина диафрагмы жёсткости; 2,5 т – железобетона в т/м<sup>3</sup>. **На техэтаж** принимаем

4 диафрагмы жёсткости две поперечных и две продольных высотой 2 м, общей массой  $24,75 : 3 \times 2 = 16,5$ , здесь 3 высота этажа, 2 высота техэтажа.

Кровля, включая: 1) керамзит толщиной 12 см плотностью 0,4 т/м<sup>3</sup> на кровле по перекрытию техэтажа  $456,25 \times 0,12 \times 0,4 = 21,9$  т. 2) Выравнивающая цементная стяжка толщиной 4 см  $0,04 \times 456,25 \times 2,4 = 43,8$  т. Покрытие три слоя рубероида РП-250 = 075 кг/м<sup>2</sup> и один слой РК-420, плюс битум 2 кг/м<sup>2</sup>, общий вес покрытия принимаем 4 кг/м<sup>2</sup> для всей кровли техэтажа здания  $0,004 \times (98 + 456,25) = 2,217$  т. Тогда **масса кровли техэтажа** составит:  $21,9 + 43,8 + 2,217 = 67,917$  т.

**Принимаем массу будки выхода на кровлю равной 4 т.**

Определяем длину наружных стен здания  $(37,1 + 12,5) \times 2 = 99,2$  м. Принимаем на этаж высоту наружных стен 3 м, толщину 0,2 м. Тогда объём наружных стен на этаж составит  $(0,2 \times 3 \times 99,2 - 1,8 \times 1,5 \times 0,2 \times 16) = 50,88$  м<sup>3</sup>. следовательно масса 1÷11 этажи наружных стен этажа с оконными проёмами в количестве 16 штук размером 1,8×1,5 м при массе одного м<sup>3</sup> железобетона 1,2 т составит:  $(50,88 \times 1,2) = 61,056$  т. Масса наружных стен техэтажа с 16-ю окнами размером 0,4×0,4 м при массе одного м<sup>3</sup> железобетона 1,2 т составит:  $(3 \times 99,2 - 0,4 \times 0,4 \times 16) \times 0,2 \times 1,2 = 70,81$  т.

Определяем массу лифтовых шахт на 1÷12 этаж. Принимаем площадь одного лифта 5 м<sup>2</sup>. **Масса стен лифтовой шахты** составит  $(\sqrt{5} \times 4 \times 3 - 2,6) \times 0,2 \times 2,5 \times 2,54 = 12,116$  т. Здесь  $\sqrt{5} = 2,236$  м – длина одной стены лифтовой шахты, 4 количество лифтовых стен, 3 высота этажа здания, 2,6 – площадь двери лифта, 0,2 – толщина стен лифта, 2,5 плотность железобетона в т/м<sup>3</sup>. на этаже принимается 4 лифта по два лифта на секцию здания. Масса стен лифтов на этаж составит  $12,116 \times 4 = 48,464$  т, в целом на здание  $48,464 \times 12 = 581,568$  т.

**Масса стен машинного отделения** лифтовой шахты на техэтаже при толщине стен машинного отделения 0,1 м составит  $12,116 : 3 \times 2 : 2 = 4,038$  т, здесь 12,116 масса лифтовой шахты для этажа здания, 3 высота лифтовой шахты этажа, 2 высота техэтажа, 2 уменьшение толщины машинного отделения до 0,1 м. Масса машинных отделений на этаж составит  $4,038 \times 4 = 16,152$  т.

Расчётные и нормативные нагрузки заносим в таблицу №1.

## Вариант №2

Массы железобетонных элементов для 1÷4 этажей и подвала, а также значения нормативных нагрузок, полов, утеплителей, наружных стен, принимаем аналогичными первому варианту и заносим их в таблицу №2. Массы железобетонных элементов расположенных выше четвёртого этажа определяем с учётом того, что применён лёгкий бетон плотностью 1,7 т/м<sup>3</sup>, а плиты перекрытий изготавливаются с применением неизвлекаемых картонно-полиэтиленовых пустотообразователей круглого сечения диаметром 159 мм [10].

Полученные расчётные результаты заносим в таблицу №2,

Определяем **массу колонн** на этаже и техэтаже. На этаже масса колонн составит  $0,5 \times 0,5 \times 3 \times 1,7 \times 21 = 26,778 \text{ т}$ . здесь  $(0,5 \times 0,5)$  площадь сечения колонны, 3 высота колонны, 1,7 плотность железобетона. На техэтаже при длине колонны 2 м, масса колонн составит  $26,778 : 3 \times 2 = 17,852 \text{ т}$ .

Определяем массу **ригелей** 5-12 этажей и техэтажа: **на этаж**  $1,7 \times 0,45 \times 0,5 \times 5,5 \times 32 = 67,32 \text{ т}$  здесь 1,7 плотность железобетона, 0,45 высота ригелей, 0,5 ширина ригеля, 5,5 длина ригеля, 32 количество ригелей на этаже и техэтаже.

**Масса диафрагм жёсткости** на этаж с 5-го по 12-й этаж равна  $3 \times 5,5 \times 0,15 \times 1,7 \times 4 = 16,83 \text{ (т)}$ . Здесь 3 – высота диафрагмы, 5,5 - длина диафрагмы жёсткости, 0,15 – толщина диафрагмы жёсткости, 1,7 - масса одного м<sup>3</sup> диафрагмы жёсткости в т/м<sup>3</sup>.

**На техэтаж** принимаем две продольные и две поперечные диафрагмы жёсткости, высота диафрагмы 2 метра, 5,5 длина диафрагмы жёсткости, 0,15 толщина диафрагмы жёсткости, 1,7 т/м<sup>3</sup> – плотность железобетона диафрагмы жёсткости. Тогда масса диафрагм жёсткости техэтажа равна  $2 \times 5,5 \times 0,15 \times 1,7 \times 4 = 11,22 \text{ (т)}$ .

Масса диафрагм жёсткости на 5÷12 этажи равна  $11,22 : 2 \times 3 = 16,83 \text{ т}$ , здесь 2 высота техэтажа, 3 высота этажей.

**Масса** стен лифтовой шахты для 1×4 этажей согласно первого варианта при толщине стен 0,2 м и высоте стен 3 м составляет 48,464 т, следовательно для остальных этажей масса лифтовых шахт на этаж равна  $48,464 : 2,5 \times 1,7 = 32,956 \text{ т}$ .

**Масса стен машинных помещений** лифтовых шахт на техэтаже при толщине стен машинного отделения 0,1 м составит  $32,956 : 2 : 3 \times 2 \times 1,7 = 10,985 \text{ т}$ .

**Массу пола** принимаем из 1-го варианта для двенадцатого этажа 32,484 т, для остальных этажей 35,714 т.

**Плиты перекрытия техэтажа и 5÷12 этажей** выполняем с применением круглых неизвлекаемых картонно-полиэтиленовых пустотообразователей диаметром 159 мм.

Определяем площадь перекрытия **техэтажа**  $456,25 - 1,5 - (0,5 \times 5,5 \times 32) = 366,75 \text{ м}^2$ , здесь 1,5 - площадь люка в будку выхода на кровлю,  $0,5 \times 5,5 \times 32 = 88 \text{ м}^2$  – площадь ригелей на этаже. Тогда масса перекрытия техэтажа равна:  $366,75 \times 0,12 \times 1,7 = 74,817 \text{ т}$ , здесь 0,12 приведенная толщина пустотной плиты перекрытия [8, стр 285], 1,7 масса одного м<sup>3</sup> железобетона.

**Двенадцатый этаж.** Определяем площадь и массу перекрытия 12-го этажа. Площадь перекрытия 12-го этажа равна  $456,25 - 1,5 - 5,25 - (0,5 \times 5,5 \times 32) = 361,5 \text{ м}^2$ . Здесь 456,25 – внутренняя

площадь этажа здания, 1,5 – площадь люка на техэтаже, 5,25 площадь сечения колонн,  $(0,5 \times 5,5 \times 32) = 88 \text{ м}^2$  площадь ригелей этажа. **Масса** перекрытия двенадцатого этажа составит  $361,5 \times 0,12 \times 1,7 = 73,746$ , здесь 1,7 масса одного м<sup>3</sup> железобетона.

**5÷11 этажи.** Определяем массу плит перекрытия жилых помещений этажа, для этого принимаем приведенную толщину плит перекрытий 0,12 м, и массу 1 м<sup>3</sup> железобетона плит перекрытия 1,7 т. Определяем площадь этажа жилых помещений здания с вычетом площади лестничных клеток, колонн, ригелей и лифтов  $\text{м}^2 - 456,25 - 73,5 - 5,25 - 88 - 20 = 269,5 \text{ м}^2$ . Тогда масса плит перекрытия этажей с 5 по 11 этаж равна  $269,5 \times 1,2 \times 1,7 = 54,978 \text{ т}$ .

Масса лестничных клеток 5÷11 этажей при плотности железобетона 1,7 т/м<sup>3</sup> составит  $29,425 : 2,5 \times 1,7 = 20,009 \text{ т}$ , здесь 29,425 масса лестничных клеток из первого варианта при плотности железобетона 2,5 т, 1,7, принимаемая плотность железобетона для 5-11 этажей.

Полученные результаты заносим в таблицу №2 и рисунок №10.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы: 1) достигнуто снижение массы здания на  $(8065,9 - 6408,455) : 8065,9 \times 100 = 20,5\%$ .

Используя расчётные результаты таблицы №1, определяем центр тяжести здания в первом варианте. Для этого определяем половину массы здания первого варианта:  $8065,9 : 2 = 4032,95 \text{ т}$ . Масса подвала и шести этажей 3903,138 т и части седьмого этажа 129,812,07 т составят половину массы здания. Определяем размер части седьмого этажа:  $3 : 598,61 \times 129,812 = 0,65 \text{ м}$ . Здесь 3 высота этажа, 129,812 часть массы седьмого этажа, соответствующая центру тяжести. За нулевую отметку принимаем отметку низа перекрытия подвала. Тогда центр тяжести находится на высоте  $0,22 + 3 \times 6 + 0,65 = 18,87 \text{ м}$ . Здесь 0,22 толщина плиты перекрытия подвала, 0,65 м – часть седьмого этажа, 3 высота этажа, 6 - количество полных этажей.

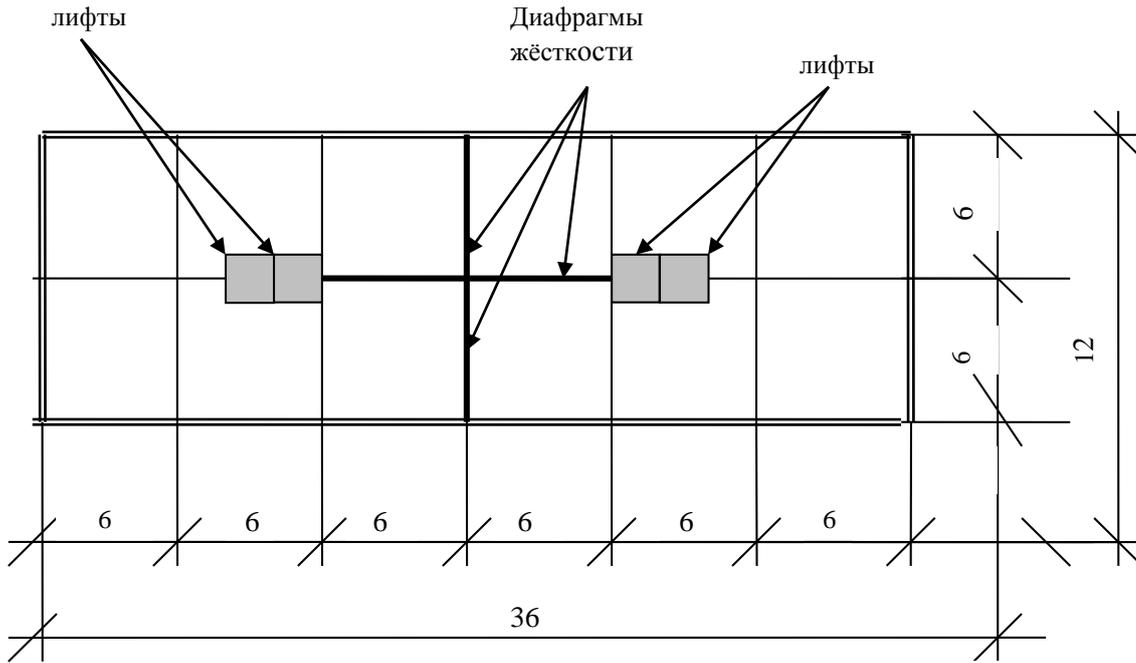
Таким же методом, пользуясь таблицей №2, находим центр тяжести здания сконструированного по второму варианту: масса половины здания равна:  $6408,45 : 2 = 3204,23 \text{ т}$ . В массу 3204,23 т входят масса подвала 290,538 т, плюс массы с первого по пятый этажи 2832,497 т, плюс часть массы шестого этажа 81,353 т. Высота части шестого этажа здания составляет  $3 : 427,117 \times 81,353 = 0,57 \text{ м}$ . Следовательно, центр тяжести здания находится на высоте  $0,22 + 3 \times 5 + 0,57 = 15,79 \text{ м}$ . Снижение центра тяжести здания составило  $18,87 - 15,79 = 3,08 \text{ м}$ , или,  $3,08 : 18,87 \times 100 = 16,3\%$

**Таблица №1.** Массы элементов здания по этажам в тоннах  
**Table № 1.** The mass of building elements by floor in tons

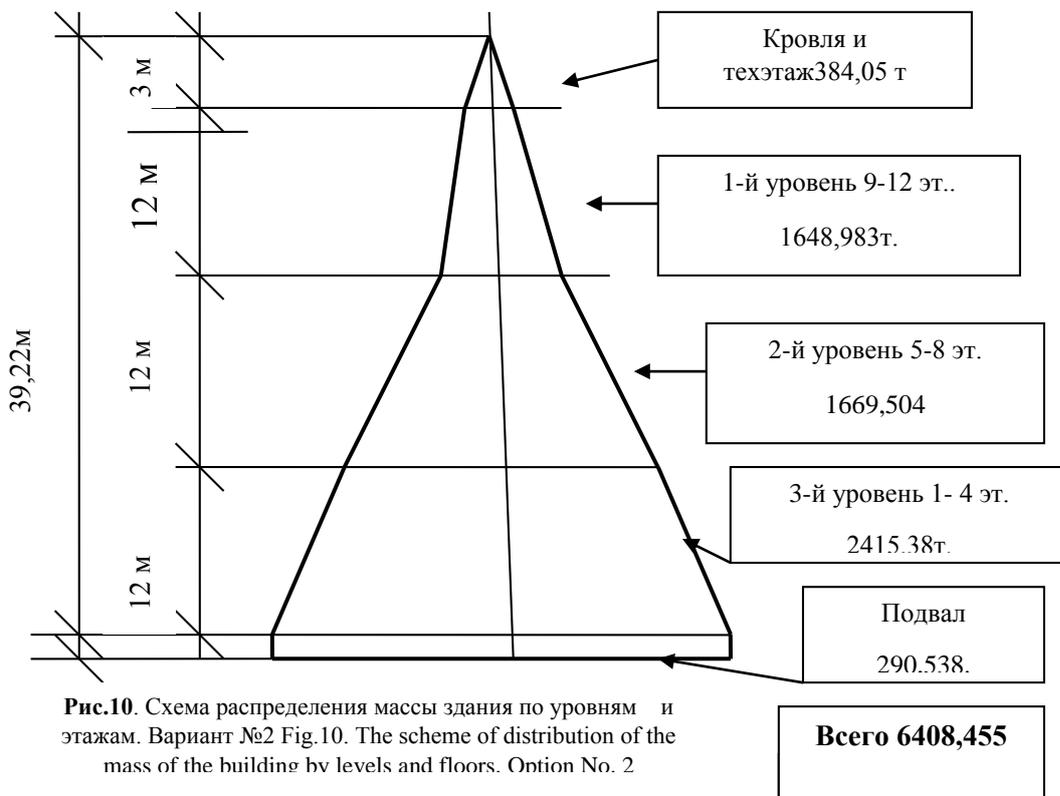
Этаж	Колонны	Ригели/и лестничные клетки, марши, и площадки	Перекрытие/ Утеплитель 1-го этажа здания	Стены лифтовой шахты	Пол 1-12 этажей./ Диафрагмы жёсткости	Нормативная нагрузка / Будка выхода на крышу	Кровля и утеплитель этажа и 12-го этажа	Наружные, ограждающие стены здания	Масса этажа, Итого уровня
кровля						<b>4</b>	<b>67,917</b>		<b>71,917</b>
техэтаж	<b>26,25</b>	<b>50,6</b> <b>29,425</b>	<b>250,113</b>	<b>16,152</b>	<b>16,5</b>	<b>31,833</b>	<b>27, 48</b>	<b>70,81</b>	<b>519,171</b>
12	39,375	50,6	236,225	48,464	30,564 24,75	85,688		61,056	576,722
11	39,375	50,6 29,41	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
10	39,375	50,6 29,425	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
9	39,375	50,6 29,41	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
Итого	<b>157,5</b>	<b>290,675</b>	<b>858,689</b>	<b>193,856</b>	<b>236,706</b>	<b>390,902</b>		<b>244,224</b>	<b>2372,552</b>
8	39,375	50,6 29,41	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
7	39,375	50,6 29,41	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
6	39,375	50,6 229,423	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
5	39,375	50,6 29,41	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
Итого	<b>157,5</b>	<b>320,1</b>	<b>829,952</b>	<b>193,856</b>	<b>241,856</b>	<b>406,952</b>		<b>244,224</b>	<b>2394,44</b>
4	39,375	50,6 29,41	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
3	39,375	50,6, 29,41	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
2	39,375	50,6 29,41	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
1	39,375	50,6 29,41	207,488 20,94	48,464	37,634 24,75	101,738		61,056	619,55
Итого	<b>157,5</b>	<b>320,1</b>	<b>850,892</b>	<b>193,856</b>	<b>243,776</b>	<b>406,952</b>		<b>244,224</b>	<b>2417,3</b>
подвал		<b>50,6</b>	<b>239,938</b>						<b>290538</b>
Всего	498,75	1061,5	3029,584	597,724	738,838	1240,639	95,405	803.482	8065,9

**Таблица №2.** Массы элементов здания по этажам в тоннах  
**Table №2..** The mass of building elements by floor in tons

№ этажа	Колонны.	Ригели/лестничные клетки - марши и площадки	Перекрытие/Утеплители 1-го этажа	Стены шахты лифтов	Пол 1-12 этажей Диафрагмы жёсткости	Нормативная нагрузка. Будка выхода на крышу	Кровля Утеплитель техэтажа и 12-го этажа	Наружные, ограждающие стены	Масса этажа, Итого Уровня
<b>кровля</b>						4	<b>67,725</b>		<b>71,725</b>
<b>Тех этаж</b>	<b>17,852</b>	<b>67,32</b>	<b>74,817</b>	<b>10,985</b>	<b>11,22</b>	<b>31,833</b>	<b>27,488</b>	<b>70,81</b>	<b>312,325</b>
12	26,775	67,32	73,746	32,956	30,564 16,83	85,688		61,056	394,935
11	26,775	67,32 20,009	54,978	32,956	35,714 16,83	101,738		61,056	417,376
10	26,775	67,32 20,009	54,978	32,956	35,714 16,83	101,738		61,056	417,376
9	26,775	67,32 20,009	54,978	32,956	35,714 16,83	101,738		61,056	417,376
<b>Итого</b>	<b>107,1</b>	<b>329,307</b>	<b>238,68</b>	<b>131,824</b>	<b>205,026</b>	<b>390,902</b>		<b>244,224</b>	<b>1647,063</b>
8	26,775	67,32 20,009	54,978	32,956	35,714 16,83	101,738		61,056	417,376
7	26,775	67,32 20,009	54,978	32,956	35,714 16,83	101,738		61,056	417,376
6	26,775	67,32 20,009	54,978	32,956	35,714 16,83	101,738		61,056	417,376
5	26,775	67,32 20,009	54,978	32,956	35,714 16,83	101,738		61,056	417,376
<b>Итого</b>	<b>107,1</b>	<b>349,316</b>	<b>219,912</b>	<b>131,824</b>	<b>210,176</b>	<b>406,952</b>		<b>244,224</b>	<b>1669,504</b>
4	39,375	50,6 29,425	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
3	39,375	50,6 29,425	207,488	48,464	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
2	39,375	50,6 29,425	207,488	<b>48,464</b>	35,714 24,75	101,738		61,056	598,61
1	39,375	50,6 29,425	207,488 20,94	48,464	37,634 24,75	101,738		61,056	619,55
<b>Итого</b>	<b>157,5</b>	<b>320,1</b>	<b>850,892</b>	<b>193,856</b>	<b>243,776</b>	<b>406,952</b>		<b>244,224</b>	<b>2417,3</b>
подвал		<b>50,6/</b>	<b>239,938</b>						<b>290,538</b>
<b>Всего</b>	<b>389,525</b>	<b>1116,643</b>	<b>1624,239</b>	<b>468,484</b>	<b>670,198</b>	1240,639	<b>95,213</b>	<b>803,482</b>	<b>6408,45</b>



**Рис.9.**Схема здания с расположением диафрагм жёсткости и лифтов. Размеры указаны в метрах Fig.9. The diagram of the building with the location of the stiffening diaphragms and elevators. The dimensions are indicated in meters.



**Рис.10.** Схема распределения массы здания по уровням и этажам. Вариант №2 Fig.10. The scheme of distribution of the mass of the building by levels and floors. Option No. 2

**Таблица №3.** Расчёт снижения массы железобетонных элементов здания  
**Table №3.** Calculation of weight reduction of reinforced concrete building elements

Массы элементов	Масса Элементов (т) Вариант №1	Масса элементов Вариарт №2	Снижение массы
колонны	498,75	389,552	109,2
перекрытия	3029,584	1624,239	1405,345
Ригели	$50,6 \times 14 = 708,4$	$50,6 \times 5 + 67,32 \times 9 = 858,88$	-150,48
Диафрагмы Жёсткости	$24,75 \times 12 + 16,5 = 313,5$	$24,75 \times 4 + 16,83 \times 8 + 11,22 = 245,26$	68,24
Марши и площадки	$29,425 \times 11 = 323,675$	$20,009 \times 7 + 29,425 \times 4 = 257,763$	65,912
Итого	4873,909	3375,694	1498,2

В процентном выражении снижение массы железобетонных элементов здания составляет:  $1498,2:4873,9 \times 100 = 30,7\%$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ.

Достигнуто 1) снижение массы здания на (8065,9-6408,455): $8065,9 \times 100 = 20,5\%$ ; 2) снижение расположения центра тяжести на 16,3 %; 3) Снижение массы железобетонных элементов на 30,7%. Предложенный способ снижения массы и центра тяжести здания является возможным и целесообразным для строительства в сейсмически опасных регионах.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вискребенцева М.А., Куен Ву Ле. Методы сейсмогашения и самоизоляции с применением специальных устройств. / Вискребенцева М.А., Куен Ву Ле// Инженерный вестник Дона. №1(2019).

2. В.А. Тарасов, М.Ю. Барановский, А.В. Редькин, Е.А. Соколов, А.С. Степанов.// Системы сейсмоизоляции, – Строительство уникальных зданий и сооружений, ISSN 2304-6295/ 4 (43)/ 11.7.2016 – 140 с.

3. Ордобаев Б.С. Инженерные методы по снижению сейсмического риска зданий и сооружений/ Ордобаев Б.С.// Civil Security technology.- Vol. 2013 No. 4 (38).

4. Карапетян Б.К., Карапетян Н.К. Сейсмические воздействия на здания и сооружения / Карапетян Б.К., Карапетян Н.К.– М.: Наука, 1978. 159 с.

5. Нуриева Д.М. Расчёт каркасных зданий на сейсмические воздействия: Учебно-методическое пособие для студентов строительных специальностей и направлений подготовки 08.03.01, 08.05.01 / Нуриева Д.М. – Казань: Изд-во Казанск. Гос. Архитект.-строит. Ун-та, 2018. - 63 с.

6. К.К.Шевцов.// Проектирование зданий с особыми природно-климатическими условиями. Учеб. пособие для студентов вузов по

специальности «ПГС» М.: Высшая школа, 1986 – 232 с.

7. СП. 20. 13330.2011 /Нагрузки и воздействия. Актуальная редакция СНиП Нагрузки и воздействия 2.01.07-85\*. Таблица 8.3.

8. Байков В.Н. Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. общий курс: учебник. М.: Стройиздат, 1991. - 630 с.

9. Мельчаков Д.В. Пустотообразующий элемент несъёмной опалубки для железобетонных многпустотных плитных конструкций». // Патент RU 2601883 С1. 20.11. 2015.

10. Фебра А. Ф. «Закладной формовочный элемент для изготовления плоских железобетонных плит». // Патент RU 2242360 С2. 29.062000.

11. Пушкарев Б.А. Способ изготовления монолитных железобетонных опирающихся по контуру пустотных плит перекрытий с применением неизвлекаемых трубчатых картонно-полиэтиленовых пустотообразователей // Патент RU №2664087. 15.08.18.

12. Котенков И.А. (ВУ) Многупустотная железобетонная плита перекрытия // Патент ВУ № 7667 U 2011.10.30.

13. Монолитные пустотные перекрытия. /Обсуждение новой технологии, опыт применения. [www.proektant.org](http://www.proektant.org) <СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ > конструкции железобетонные.

14. Бойко В.Е., Ерёменко В.А.//Расчёт и подбор составов лёгких бетонов Практическое пособие / Бойко В.Е., Ерёменко В.А. – Киев.: Издательство «Будівельник – 1974. – 159 с.

### REFERENCES

1. Vyskrebentseva M.A., Kuen Wu Le. //Methods of seismic suppression and self-isolation using special devices. / Vyskrebentseva M.A., Kuen Wu Le – Engineering Bulletin of the Don. No. 1(2019).

2. V.A. Tarasov, M.Y. Baranovsky, A.V. Redkin, E.A. Sokolov, A.S. Stepanov.// Seismic insulation

systems, – Construction of unique buildings and structures, ISSN 2304-6295/ 4 (43)/ 11.7.2016 – 140 p.

3. Ordobaev B.S. //Engineering methods to reduce the seismic risk of buildings and structures, / Ordobaev B.S. – Civil Security technology. Vol. 2013 No. 4 (38).

4. Karapetyan B.K., Karapetyan N.K.//. Seismic effects on buildings and structures / Karapetyan B.K., Karapetyan N.K. – M.: Nauka, 1978. 159 p.

5. Nurieva D.M. Calculation of frame buildings for seismic effects: An educational and methodological guide for students of construction specialties and training areas 08.03.01, 08.05.01 / D.M. Nurieva – Kazan: Publishing House of the Kazan State University. The architect.- He's building. Unita, 2018. - 63 p.

6. K.K. Shevtsov.// Design of buildings with special natural and climatic conditions. Textbook for university students in the specialty "PGS" Moscow "HIGHER SCHOOL" 1986 – 2320. 13330.2011.

7. SP. 20. 13330.2011 /Loads and impacts. The current version of the SNiP Load and impact 2.01.07-85\*. Table 8.3.

8. Baykov V.N. Sigalov E.E. Reinforced concrete structures. general course: textbook. M.: Stroyizdat, 1991. - 630 p.

9. Melchakov D.V. Void-forming element of non-removable formwork for reinforced concrete multi-hollow slab structures // Patent for invention RU 2601883 C1. 11/20/2015.

10. Febra A. F. Embedded molding element for the manufacture of flat reinforced concrete slabs // Patent for invention RU 2242360 C2. 06/29/2000.

11. Pushkarev B.A. A method for manufacturing monolithic reinforced concrete hollow floor slabs based on the contour using non-removable tubular cardboard-polyethylene voids // Patent RU No.2664087. 08/15/18.

12. Kotenkov I.A. (BY) Multi-hollow reinforced concrete floor slab // Patent BY No. 7667 U 2011.10.30.

13. Monolithic hollow floors. /Discussion of new technology, application experience. www.proektant.oro <CONSTRUCTION FORUM > reinforced concrete structures.

14. Boyko V.E., Eremenko V.A.//Calculation and selection of light concrete compositions A practical guide / Boyko V.E., Eremenko V.A. – Kiev.: Budivelnik Publishing House – 1974. – 159 p.

## APPLICATION OF NON-REMOVABLE TUBULAR COLLECTORS AND LIGHT-WEIGHT CONCRETE FOR REDUCING THE WEIGHT OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES AS ONE OF THE WAYS TO REDUCE THE SEISMIC IMPACT ON HIGH-RISE BUILDINGS.

Pushkarev B.A

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute "Academy of Construction and Architecture"  
181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation  
e-mail: boris\_pushkarev@mail.ru

**Annotation.** The article gives examples of buildings and structures, successfully and unsuccessfully designed and built, shows their characteristic features, analyzes publications that justify the need to reduce the weight of structures; reducing the location of the center of gravity of the masses, the use of constructive solutions of the building itself capable of counteracting seismic effects. An example of the design and calculation of two design options for a twelve-story residential building of various weights using heavy and lightweight concrete and non-removable cardboard-polyethylene void formers with a circular cross section with a diameter of 159 mm is given as one of the methods aimed at reducing seismic impact. Based on the studies performed, it was concluded that it is expedient to use non-removable void formers in combination with lightweight concrete to reduce the mass of reinforced concrete structures and heavy concrete to reduce the center of gravity of the building, and as a result, reduce the seismic impact.

**Subject of study.** The subject of the study is to reduce the mass of reinforced concrete structures of high-rise buildings and their center of gravity, as well as the construction of the building itself in seismic zones.

**Materials and methods.** To reduce the mass of reinforced concrete structures, the frame was designed and the center of gravity of a twelve-story residential building was calculated in two options - the first option: the use of heavy reinforced concrete completely 2.5 t/m<sup>3</sup> and solid floor slabs 22 cm thick; the second option is the use of heavy reinforced concrete with a density of 2.5 t/m<sup>3</sup> to cover the basement and the lower four floors, the rest of the upper floors using light reinforced concrete with a density of 1.7 t/m<sup>3</sup> and non-removable cardboard-polyethylene void formers with a diameter of 159 mm for floor slabs. The possibility, expediency and application of building design according to the second option are substantiated.

### Results.

- 1) Reducing the center of gravity of the building by 16.3%.
- 2) Reducing the mass of the building while maintaining the standard loads: 20.5%.
- 3) The cumulative reduction in the mass of reinforced concrete elements is 30.7%.

**Conclusions.** The proposed design of a monolithic twelve-story residential building using heavy concrete on the lower floors and lightweight concrete in combination with non-removable cardboard-polyethylene tubular hollow formers of circular cross section with a diameter of 159 mm on the upper floors, providing a significant reduction in the mass and center of gravity of the building, is a possible and expedient way to build in seismically dangerous regions.

**Key words:** construction, building, light and heavy concretes, void formers.