

# ЯПОНСКОЕ ЧУДО И РУССКИЙ «ЗАХАР»



А.Д. Соколов



В.Г. Решетников



Я.И. Котык



В.Н. Бабкин



Д.Ю. Иванников

Как известно, территория Японии подвержена частым сейсмическим воздействиям. В связи с этим разработка сейсмостойких конструкций сооружений является для Японии чрезвычайно актуальной задачей.

В 80-х – 90-х годах прошлого века японскими инженерами были разработаны конструкции подпорных стен из тонкостенных железобетонных блоков-коробов, пустоты которых заполняются уплотненным щебнем (рис. 1, 2).

Объединяют блоки и щебень только силы веса и трения, благодаря чему система приобретает возможность малых взаимных подвижек элементов без разрушения и нарушения конструктивных качеств. Это свойство придает стенам конструктивную гибкость, что и обеспечивает их сейсмостойкость.

Использование щебня как основного материала стены делает конструкцию не только экономичной, но и успешно выполняющей дренажные функции. Поэтому протечки, нередко приводящие к обрушению, не представляют опасности для таких стен, в отличие от других конструкций.

С 1992 года в Японии в больших объемах возводились подпорные стены различного целевого назначения, а именно:

- подпорные стены устоев автодорожных мостов (рис. 3, 4);
- низовые подпорные стены автомобильных дорог (рис. 5, 6);
- малые архитектурные формы в городах (рис. 7);
- берегоукрепительные сооружения (рис. 8).

Все перечисленные объекты выявили ряд дополнительных преимуществ по сравнению с подпорными стенами традиционных конструкций: быстрый монтаж, отсутствие мокрых процессов при строительстве, эстетичность, легкость озеленения (рис. 9), экономичность, минимальное количество техники для строительства, минимальные трудозатраты, сокращенные сроки строительства.

На конец 2021 года на территории Японии возведено 2845 подпорных стен

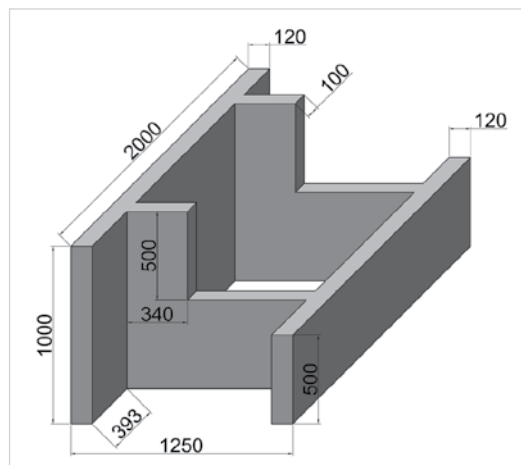


Рис. 1. Конструкция тонкостенного железобетонного блока-короба КБП 2000×1000×1250



Рис. 2. Внешний вид готовых железобетонных блоков КБП. Внешняя плоскость блоков отделана под естественный камень



Рис. 3. Подпорная стенка устоя путепровода из блоков КБП



Рис. 4. Путепровод с устоями в виде подпорных стен из блоков КБП



Рис. 5. Низовая подпорная стена насыпи автомобильной дороги из блоков КБП



Рис. 6. Низовая подпорная стена насыпи автомобильной дороги из блоков КБП



Рис. 7. Подпорная стена для строительства малых архитектурных форм в городах



Рис. 8. Берегоукрепительное сооружение в виде криволинейной в плане подпорной стены из блоков КБП



Рис. 9. Пример озеленения подпорной стены из блоков КБП

высотой до 21 м. За весь срок применения данной технологии, начиная с 1990-х годов, не произошло ни одной аварии.

Территория Дальнего Востока России также относится к сейсмоопасной зоне. Не случайно российская группа компаний «Захар», образованная в 1994 году, переняла японский опыт и технологию возведения подпорных стен из пустотелых железобетонных блоков.

В 2010 году была развернута программа строительства подпорных стен с использованием сейсмостойких подпорных стен с «ФГУП Дальспецстрой» России. В 2013 году начато строительство первых объектов подпорных стен в сейсмоопасных районах Дальнего Востока (город Петропавловск-Камчатский).

Группа компаний «Захар» имеет патент РФ № 77878 «Конструктивный блок для подпорной стенки и подпорная стенка».

В РФ ГК «Захар» построила более 35 тыс. кв. м подпорных стен и устоев мостов.

Стоимость одного квадратного метра готовой стены ориентировочно составляет 18–20 тыс. рублей.

Производство блоков типа КБП находится в поселке Тучково Московской области и во Владивостоке.

В качестве примера взят расчет устойчивости на плоский сдвиг подпорной стены из конструктивных железобетонных блоков КБП 2000×1000×1250 мм с заполнением уплотненным щебнем.

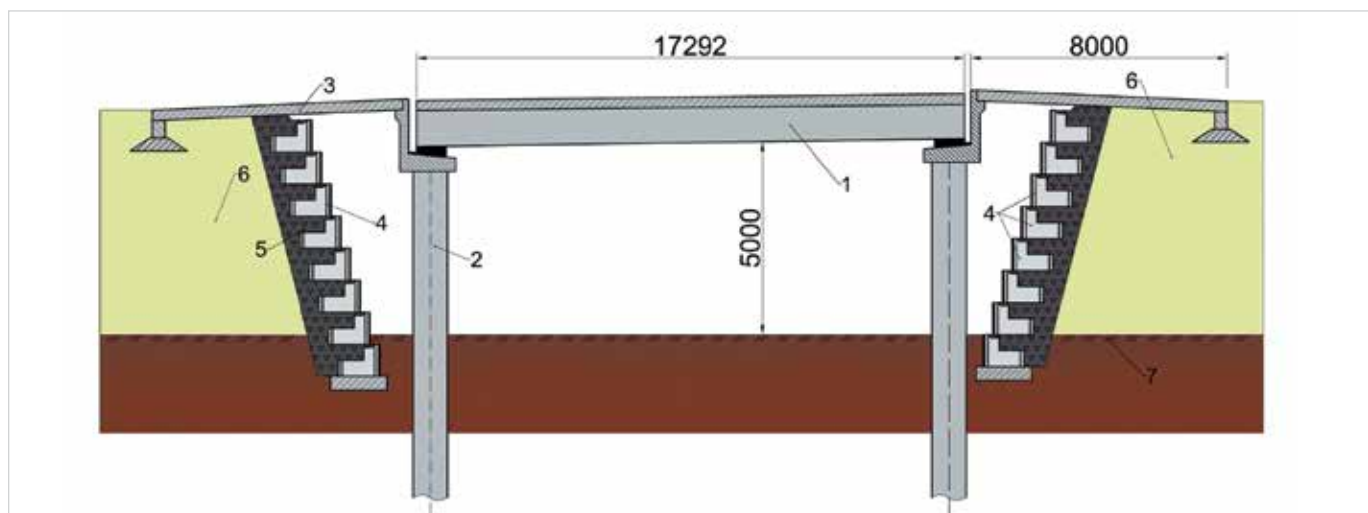


Рис. 10. Автодорожный путепровод с устоями с разделенными функциями в виде наклонных подпорных стен из блоков КБП. 1 - ж/б пролетное строение, 2 - безростверковые опоры из буровых свай, 3 - переходные плиты, 4 - ж/б блоки КБП, 5 - заполнение щебнем, 6 - насыпь из песка, 7 - грунт основания

**Описание объекта**

Мостовое сооружение представляет собой однопролетный путепровод (рис. 10).

Опоры безростверковые из буровых свай.

Устои с разделенными функциями в виде наклонных подпорных стен, состоящие из железобетонных блоков КБП, пустотелых с заполнением пустот уплотненным щебнем твердых пород. Угол наклона стены к вертикали составляет  $\varepsilon = -16,25^\circ$ .

Высота подходной насыпи  $H = 7,0$  м.

Насыпь выполнена из песка средней крупности:

- удельный вес  $\gamma = 1,8$  тс/м<sup>3</sup>;
- угол внутреннего трения  $\varphi_{расч.} = 30^\circ$ ;
- коэффициент фильтрации  $K_{ф} \geq 2,0$  м/сут.;
- коэффициент уплотнения  $K_{упл} = 0,98$ .

Удельный вес железобетонных блоков  $\gamma_{ж.б.} = 2,5$  тс/м<sup>3</sup>.  
Удельный вес щебня  $\gamma_{щ.} = 2,3$  тс/м<sup>3</sup>.

Расчет произведен для одного погонного метра ширины стенки.

Вес блока составляет:

$G_{ж.б.} = 2,5 \cdot 0,593 \cdot 1,1 = 1,63$  тс,  
где 2,5 – удельный вес железобетона,  
0,593 – объем железобетона,  
1,1 – коэффициент надежности  $\gamma_f$  к весу  $G_{ж.б.}$ .

Вес щебня составляет:

$G_{щ.} = 2,3 \cdot 3,0 \cdot 1,1 = 7,59$  тс,  
где 2,3 – удельный вес щебня,  
3,0 – объем щебня в одном блоке,  
1,1 – коэффициент надежности  $\varphi_f$  к весу  $G_{щ.}$ .

Суммарный вес одного ряда блоков длиной 2,0 м составляет:

$G_{\Sigma} = 1,63 + 7,59 = 9,22$  тс

В пересчете на 1 п.м. ширины стенки суммарный вес составляет:

$G_{ст(1)} = \frac{9,22}{2} = 4,61$  тс

Для определения активного давления грунта насыпи на стенку устоя будем пользоваться теорией О. Кулона. При этом будем учитывать только горизонтальную составляющую активного давления грунта. Этот прием соответствует российским нормам по мостостроению [1].

Коэффициент горизонтальной составляющей активного давления грунта определяется по формуле [3, 4]:

$$\lambda_x = \frac{\cos^2(\varphi - \varepsilon)}{\left[ 1 + \frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\varepsilon + \delta) \cdot \cos(\varepsilon - \alpha)} \right]^2} \cdot \cos^2 \alpha, \quad (1)$$

где  $\varphi = 30^\circ$  – угол внутреннего трения грунта,  $\delta = 0$  – угол трения грунта о стену,  $\varepsilon = -16,25^\circ$  – угол наклона стенки к вертикали,  $\alpha = 0$  – угол наклона к горизонтали поверхности грунта.

При этих исходных данных получаем:  $\lambda_x = 0,224$

Результаты расчета приведены в табл. 1.

При этом определялись:

- Интенсивность активного давления грунта по формуле:

$P_a = \lambda_x \cdot \gamma \cdot H \quad (2)$

- Горизонтальная составляющая активного давления грунта на стенку по формуле:

Табл. 1. Результаты расчета на плоский сдвиг подпорной стенки устоя из блоков КБП

Число блоков	Вес $G$ , тс	Интенсивность активного давления грунта $P_a^x$ тс/м,	Горизонтальное давление грунта $E_a^x$ , тс	Нормальная сила $N$ , тс	Касательная сила $T$ , тс	Коэффициент устойчивости $K_{уст}$
1	4,61	0,403	0,282	4,61	5,49	19,47
2	9,22	0,806	1,129	9,22	10,97	9,72
3	13,83	1,209	2,540	13,83	16,46	6,48
4	18,44	1,613	4,516	18,44	21,94	4,86
5	23,05	2,016	7,056	23,05	27,43	3,89
6	27,66	2,419	10,161	27,66	32,92	3,24
7	32,27	2,822	13,830	32,27	38,40	2,78

$$E_a^x = \lambda_x \cdot \gamma \cdot \frac{H^2}{2} \cdot \gamma_f \quad (3)$$

где  $\lambda_x = 0,224$ ,  $\gamma = 1,8$  тс/м<sup>3</sup>,  $H$  – глубина точки от поверхности грунта,  $\gamma_f = 1,4$  – коэффициент надежности к давлению грунта;

■ Касательная сила в основании блока:

$$T = N \cdot tg\varphi_{щ} \quad (4)$$

где  $N = G$  – нормальная сила в основании блока,  $tg\varphi_{щ} = 1,19$ , коэффициент устойчивости, равный

$$K_{уст.} = \frac{T}{E_a^x}.$$

Как видно из табл. 1, коэффициент устойчивости для каждого ряда блоков превышает требуемую величину  $K_{тр.} = 1,4$ .

Загружение подпорной стенки временной нагрузкой Н-14 [2] при наличии переходной плиты длиной 8,0 м не влияет на расчет стенки устоя, так как временная нагрузка при этом не попадает в пределы призмы обрушения грунта.

### Заключение

1. Разработанная японскими инженерами и освоенная российской группой компаний «Захар» конструкция и технология возведения сейсмостойких подпорных стен различного целевого назначения из тонкостенных железобетонных пустотелых блоков КБП является эффективной и экономичной для транспортного строительства РФ технологией.

2. Устойчивость подпорных стен из блоков КБП обеспечивается за счет веса и силы трения внутри щебня, заполняющего пустоты блоков и заблочную часть, а также путем регулирования величины ступенчатого сдвига ярусов блоков. При увеличении высоты стен эти величины могут быть увеличены для обеспечения требуемого коэффициента устойчивости.

3. Применение подпорных стен из блоков КБП в устоях малых и средних автодорожных мостов создает известную в России конструкцию устоев с разделенны-

ми функциями, экономическая эффективность которых, в сравнении с традиционными конструкциями обычных конусных устоев, составляет 20÷40%

4. Повышение устойчивости подпорных стен из блоков КБП будет обеспечено использованием армирования грунта, уже получившего в нашей стране достаточно широкое распространение в транспортном строительстве [5].

**А.Д. Соколов,**

почетный транспортный строитель,

академик, доктор транспорта;

**В.Г. Решетников,**

главный инженер проектов

АО «Союздорпроект»,

канд. техн. наук;

**Я.И. Котык,**

генеральный директор группы компаний «Захар»,

**В.Н. Бабкин,**

директор по развитию

группы компаний «Захар»,

**Д.Ю. Иванников,**

студент Московского

энергетического института

### Литература

1. Свод правил СП 35-13330 «Мосты и трубы».
2. Межгосударственный стандарт ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2016.
3. Свод правил СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений».
4. Методика расчетов подпорных стен из ж/б блоков-коробов КБП «АЗКонкрет» с заполнением из уплотненного щебня. ООО ННЦ «Сейсмозащита», ОАО «Приморгражданпроект».
5. Соколов А.Д. Армогрунтовые системы автодорожных мостов и транспортных развязок. Монография. Отраслевая медиа-корпорация «Держава», СПб, 2013.