

## Экономичный профиль пролетного строения балочного моста

*А.В. Макаров, А.В. Калюжный*

*Волгоградский государственный технический университет*

**Аннотация:** В статье рассматривается проблема ограниченности проектирования в настоящее время. Описаны примеры, где применение нестандартных идей позволит экономить, как пространство, так и денежные средства при строительстве мостов. Анализ произведенных расчетов позволил выявить наиболее эффективную форму продольного профиля мостового сооружения. Отмечено, что применение параболической формы при проектировании существенно сократит затраты на строительстве.

**Ключевые слова:** строительство, мост, продольный профиль, уклон насыпи, эффективность, экономичность, поперечный профиль насыпи, длина, объем.

Россия страна с обширной дорожной сетью, которая находится в постоянном развитии. И все-таки транспортную систему нашей страны нельзя отнести к разряду совершенных и по качеству и по объему сети. Правительство РФ, региональные власти уделяют внимание дальнейшему развитию дорожно-транспортной инфраструктуры, что отмечается в принятых документах [1, 2]. Развитие дорожной сети в такой огромной стране как Россия требует гигантских капиталовложений [3]. Грамотное экономное расходование средств залог успешного выполнения поставленной задачи. Особенно больших финансовых вложений требуют искусственные сооружения на дорогах. Функциональная надежность этих объектов не должна быть обеспечена за счет неоправданно высокой стоимостью сооружений. Мостовые сооружения на дорогах должны быть эффективными при их проектировании [4, 5], строительстве, эксплуатации и реконструкции. Именно реконструкция [6] и ремонт [7] при сравнительно небольших затратах способна продлить жизнь мостов и сэкономить денежные средства.

В прошлые десятилетия в нашей стране в строительстве господствовал принцип типового железобетонного строительства. Заводы изготавливали типовые конструкции сборных элементов пролетных строений, ригелей, опор, устоев, из которых впоследствии собирались мосты. Сооружения проектировали прямолинейной формы. Применение балок прямолинейного

---

профиля при соблюдении подмостового габарита влечет за собой сооружение высоких насыпей подхода к мосту, что особенно неприемлемо в городских условиях, где пространство ограничено.

Одним из примеров может послужить бумажный мост в Санкт-Петербурге (рис. 1). На рисунке отчетливо видно, что даже при строительстве такого не большого моста потребовалось соорудить значительную насыпь.

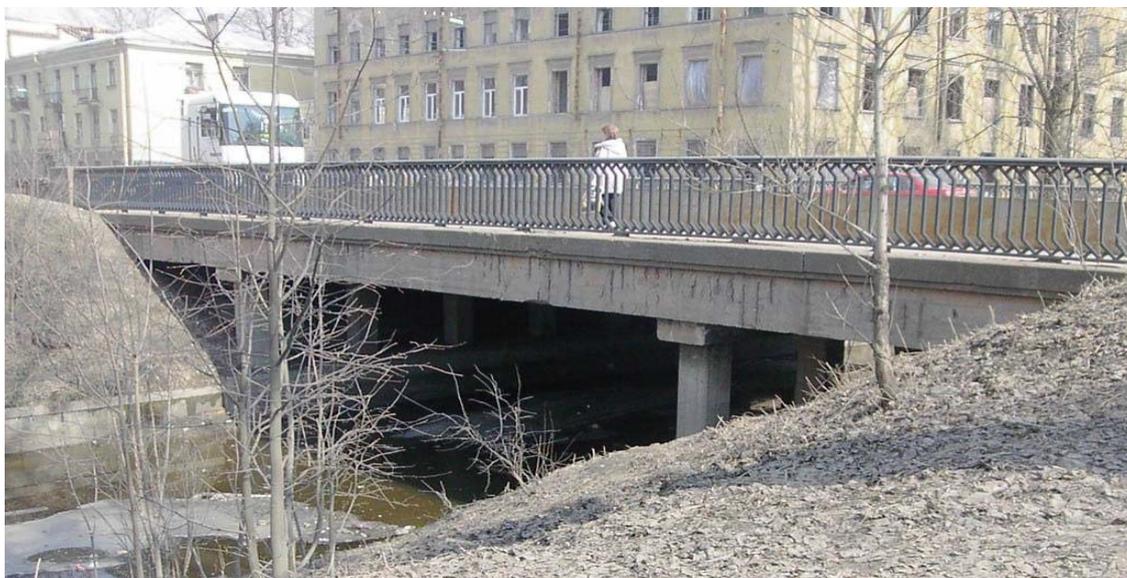


Рис. 1 – Бумажный мост в Санкт-Петербурге.

В настоящее время активно развивается железобетонное монолитное мостостроение, а также строительство металлических мостов, это открывает возможность конструировать не только прямолинейные, но криволинейные формы, что позволяет уменьшить длину насыпей подхода к ним. При больших подмостовых габаритах при пересечении водных преградах первого класса длина насыпи подхода и ее объем могут быть значительными.

Примером применения такого конструктивного решения является Сторсезандетский мост на Атлантической дороге в Норвегии (рис. 2). Его конструкция позволила сэкономить не только значительное пространство под возведение насыпей подхода, но и большие денежные средства. Ко всему прочему этот мост архитектурно выразителен и является украшением дороги.

---



Рис. 2 - Сторсезандетский мост в Норвегии.

При проектировании таких объектов применяется компьютерное моделирование. Построение 3D модели позволяет достичь совершенной формы и обеспечит расчетную прочность конструкций [8]. Одной из таких сред, позволяющих выполнить расчет и выявить зоны концентрации напряжений, является пакет Revit [9].

Для анализа эффективности использования криволинейного профиля рассмотрены три формы продольного профиля мостового перехода: прямолинейная, круговая и параболическая.

Расчеты выполнены для мостового перехода через водную преграду первого класса с подмостовым габаритом  $H$  равным 17 метрам при разных уклонах насыпи подхода.

В случае, когда используются стандартные балки прямолинейного профиля, длина насыпи составит 13,712 условных единиц, что равно 233,1 метра, (рис.3,а) при круговом профиле мостового сооружения длина насыпи существенно сокращается и составляет 10,54Н или 179,2 метра (рис. 3,б). Как показали расчеты, самым экономичным профилем является параболический. При нем длина насыпи составляет всего 8,5Н или 144,5 метра (рис. 3,в).

По требованиям безопасности и плавности профиля уклон насыпи подхода должен совпадать с углом наклона касательной к кривой профиля моста в точке сопряжения насыпи с пролетным строением.

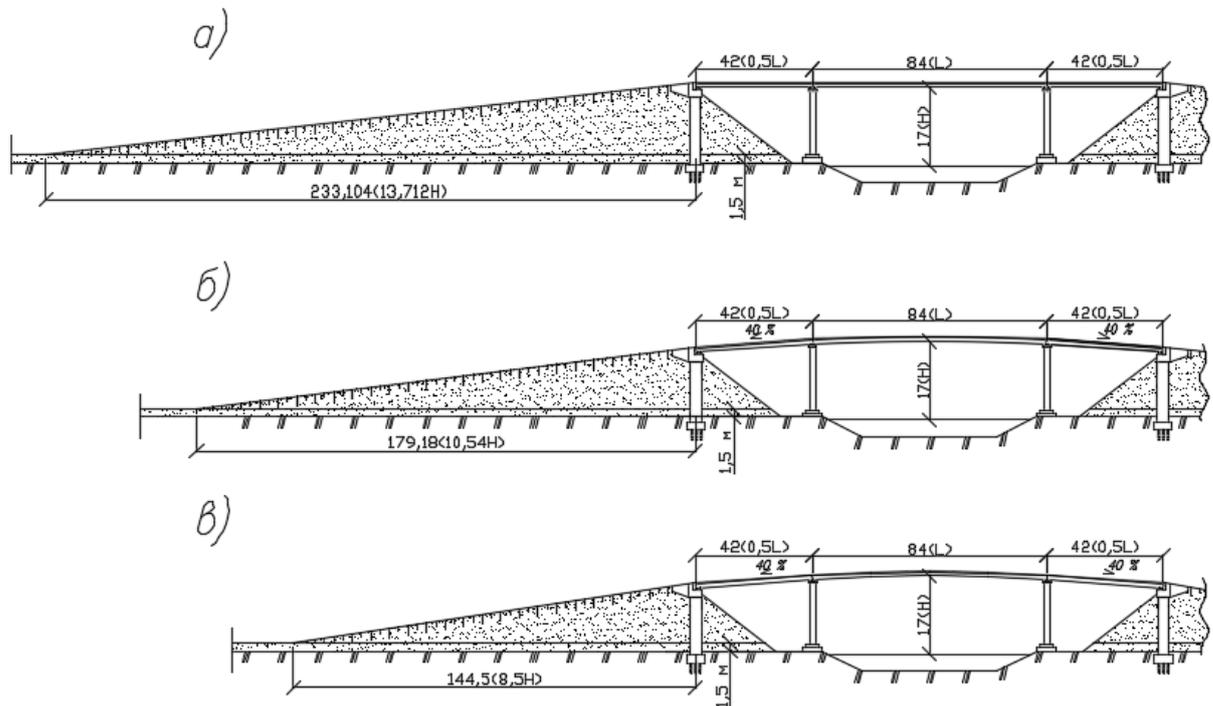


Рис. 3 - Длина насыпи при различной форме продольного профиля моста. а) прямолинейная, б) круговая, в) параболическая

Для вычислений геометрических параметров кругового профиля воспользуемся формулами строительной механики для радиуса окружности

$$R = \frac{l^2 + 4 \cdot f^2}{8 \cdot f}, \text{ где } l - \text{ пролет моста, } f - \text{ стрела подъема, и угла наклона}$$

касательной в точке сопряжения моста и насыпи подхода  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{l}{2 \cdot (R - f)}$ . При

различных соотношениях  $l/f$ , получена зависимость длины насыпи от ее продольного уклона.

Параметры параболического профиля воспользуемся формулой параболы строительной механики [10]  $y = \frac{4 \cdot f}{l^2} \cdot (l - x) \cdot x$  и угла наклона

касательной к оси  $\operatorname{tg} \varphi = y' = \frac{4 \cdot f}{l^2} \cdot (l - 2 \cdot x)$ , где  $l$  - длина пролета,

$f$  - стрела подъема параболы. Отсюда выражение для стрелы подъема имеет

вид  $f = \frac{tg\varphi \cdot t^2}{4 \cdot (1 - 2\varphi)}$ . При заданных уклонах насыпи  $tg\varphi$  получим уменьшение высоты насыпи на величину  $f$ , а значит и ее длины.

На основе результатов расчета построен график (рис. 4) зависимости длины насыпи от продольного уклона насыпи подхода при различных профилях мостовых сооружений. На рисунке 4 синий цвет соответствует прямолинейному профилю моста, красный - круговому, зеленый - параболическому.

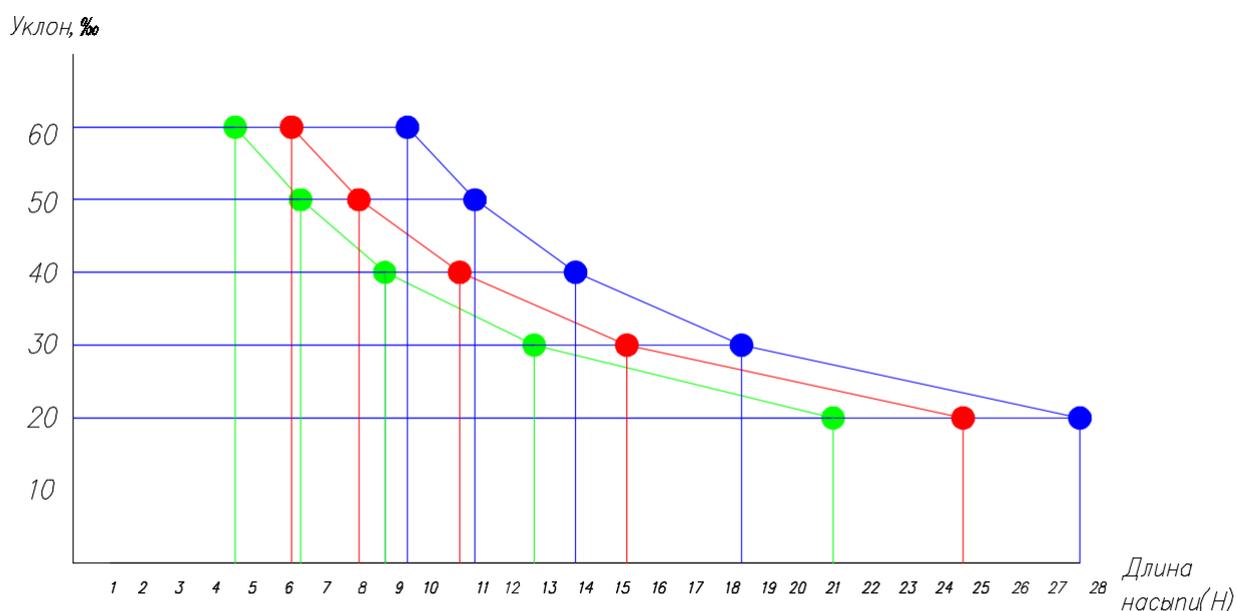


Рис. 4. – График сравнения длины насыпи подхода для различных продольных профилей мостового сооружения.

Поперечные профили грунтовых насыпей автомобильных дорог регламентируются нормативной литературой. Выбор конкретного вида профиля зависит от многих факторов: высоты насыпи, профиля и уклона местности, наличия зеленых насаждений и плодородных земель. На подходах к мостовым сооружениям: путепроводам при пересечениях в разных уровнях и мостам через водные преграды высота насыпи увеличивается. В таких случаях уклон откосов насыпи меняется для обеспечения ее устойчивости. Насыпи до 6 метров имеют постоянный уклон откосов равный 1:1.5. Высокие

насыпи до 14 метров имеют широкое основание с откосами 1:2.5 и верхнюю часть с откосом 1:2. В случаях пересечения дорогой водных каналов в равнинной местности проектируют насыпи высотой 16 метров и более. Ширина основания такой насыпи имеющей четырех метровые бермы 103.5 м., а уклоны откосов увеличиваются от 1:1.5 до 1: 2 (рис. 5).

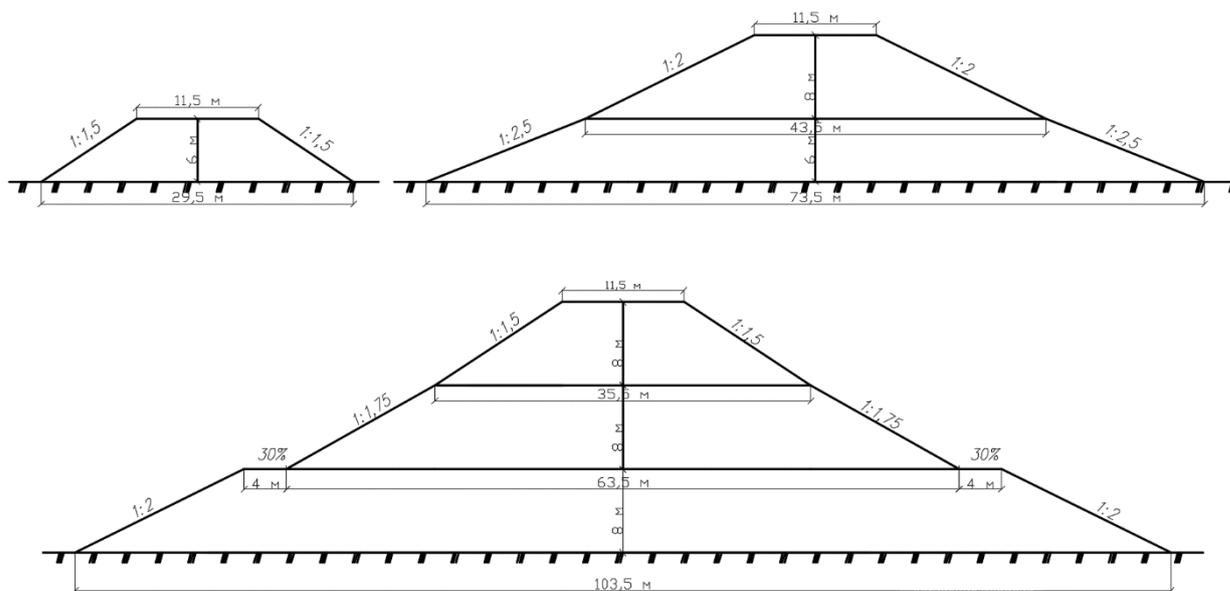


Рис. 5. - Поперечные профили насыпи подхода к мосту с высотой до 6, 14 и свыше 16 метров.

Возведение таких земляных сооружений требует соответствующих затрат на разработку грунта в карьерах, перевозку и послойную отсыпку с уплотнением. При выборе оптимального продольного профиля моста и продольного уклона насыпи подхода можно существенно сократить трудовые и финансовые затраты. Результаты подсчета длин насыпей подходов и их объемов грунта для предложенных продольных профилей балочных мостов приведены в таблице 1.

Таблица № 1

Длины и объемы насыпей подхода к мосту

Уклон	Прямолинейная		Круговая		Параболическая	
	Длина, м	Объем, м <sup>3</sup>	Длина, м	Объем, м <sup>3</sup>	Длина, м	Объем, м <sup>3</sup>

---

---

20	467	111 546	438	61 237	352	49 266
30	310	74 086	266	31 362	214	25 231
40	233	55 704	179	18 928	144	15 228
50	186	41 883	128	11 650	103	9 373
60	149	33 435	92	9 263	74	6 705

Благодаря проведенным исследованиям видно, что параболический продольный профиль моста позволяет экономить значительное пространство под сооружение насыпей подхода, а также сократить финансовые средства при ее возведении.

### Литература

1. Решетова Е.М. Механизмы финансирования дорожной инфраструктуры в России и в мире. История развития, современное состояние, лучшие мировые практики: Отдельное издание. НИУ ВШЭ, 2015. 552с.
2. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. URL: [mintrans.ru/documents/3/1009](http://mintrans.ru/documents/3/1009)
3. Федеральные и региональные транспортные стратегии. URL: [morproekt.ru/articles/materialy-po-tekhnologii/programmy-razvitiya-transporta/federalnye-i-regionalnye-transportnye-strategii](http://morproekt.ru/articles/materialy-po-tekhnologii/programmy-razvitiya-transporta/federalnye-i-regionalnye-transportnye-strategii)
4. Makarov A. V., Kalinovsky S. A. Methods of regulating thrust in design of arch bridges. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 451, № 1. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2018) 26-28 September 2018, South Ural State University, Russian Federation, 2018. 8 p. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/451/1/012054/pdf](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/451/1/012054/pdf).



5. Макаров А. В., Купрещенков А. Э. К вопросу о проектировании биметаллических мостов. Инженерный вестник Дона. 2018. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4961](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4961).

6. Рекунов С.С. Об оценке надёжности и восстановлении эксплуатационных качеств мостовых сооружений. Интернет-журнал «Транспортные сооружения». 2016, Том 3, №2. URL: [t-s.today/07TS216.html](http://t-s.today/07TS216.html)

7. Кулаев Е.А., Воронкова Г.В. Реконструкция моста через реку Оленья Волгоградской области. Инженерный вестник Дона. 2017. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4168](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4168).

8.Langwich O. Bridge modeling – AutoDesck User Group International, 2016 URL: [augi.com/articles/detail/bridge-modeling](http://augi.com/articles/detail/bridge-modeling)

9. Zotkin S. P., Ignatova E. V., Zotkina I. A. The Organization of Autodesk Revit Software Interaction with Applications for Structural Analysis. Science Direct, 2016 URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816323736](http://sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816323736)

10. Дарков А. В., Шапошников Н. Н. Строительная механика: Учебник. 12-е изд, стер. СПб.: Издательство «Лань», 2010. 656 с.

### References

1.Reshetova E.M. Mekhanizmy finansirovaniya dorozhnoy infrastruktury v Rossii i v mire. Istoriya razvitiya. sovremennoye sostoyaniye. luchshiye mirovyie praktiki [Financing mechanisms of road infrastructure in Russia and in the world. History of development, current state, best world practices]: Otdel. izdan. NIU VShE. 2015. 552 p.

2. Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda [Transport strategy of the Russian Federation for the period up to 2030]. URL: [mintrans.ru/documents/3/1009](http://mintrans.ru/documents/3/1009)

3. Federalnyye i regionalnyye transportnyye strategii [Federal and regional transport strategies]. URL: [morproekt.ru/articles/materialy-po-](http://morproekt.ru/articles/materialy-po-)



tekhnologii/programmy-razvitiya-transporta/federalnye-i-regionalnye-transportnye-strategii

4. Makarov A. V., Kalinovsky S. A. Methods of regulating thrust in design of arch bridges. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 451. № 1. International Conference on Construction. Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2018) 26-28 September 2018. South Ural State University. Russian Federation. 2018. 8 p. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/451/1/012054/pdf](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/451/1/012054/pdf).

5. Makarov A. V., Kupreshchenkov A. E. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2018. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4961](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4961).

6. Rekunov S.S. Internet-zhurnal «Transportnye sooruzheniya». 2016, Tom 3, №2. URL: [t-s.today/07TS216.html](http://t-s.today/07TS216.html)

7. Kulaev E.A., Voronkova G.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2017. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4167](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4167).

8. Langwich O. Bridge modeling – AutoDesck User Group International. 2016 URL: [augi.com/articles/detail/bridge-modeling](http://augi.com/articles/detail/bridge-modeling)

9. Zotkin S. P., Ignatova E. V., Zotkina I. A. The Organization of Autodesk Revit Software Interaction with Applications for Structural Analysis. Science Direct. 2016 URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816323736](http://sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816323736)

10. Darkov A. V., Shaposhnikov N. N. Stroitel'naya mekhanika [Structural mechanics]: Uchebnik. 12-e izd. ster. SPb.: Izdatelstvo «Lan». 2010. 656 p.