

УДК 624.21.625.046.5

д.т.н., проф. Усаковский С.Б.,

Киевский национальный университет строительства и архитектуры,

Величко М.Н., Национальный авиационный университет

**ВЛИЯНИЕ НОВЫХ ПОДВИЖНЫХ НАГРУЗОК НА  
НАДЕЖНОСТЬ И РЕЗЕРВЫ ПРОЧНОСТИ ФУНДАМЕНТОВ МОСТОВ,  
ПОСТРОЕННЫХ ПО ТИПОВЫМ ПРОЕКТАМ ЗА ПОСЛЕДНИЕ  
ПЯТЬДЕСЯТ ЛЕТ.**

*Фундаменты существующих мостов малых пролетов, запроектированных в прошлом веке по типовым проектам под устаревшие нагрузки, обладают запасами прочности, заложенными методом предельных состояний. Предложено использовать эти запасы, а для их оценки применить методы теории надежности.*

1. Предметом исследования является надежность фундаментов существующих железобетонных мостов небольших пролетов, построенных по типовым проектам за последние 50 лет. Эти мосты были запроектированы под нагрузки от автомобильного транспорта в соответствии с устаревшими нормативными документами СН 200 – 62 [1] и СНиП 2.05.03-84 [2].

Требуется выявить запасы прочности фундаментов этих мостов и оценить их возможность пропускать новую увеличенную нагрузку.

2. Произведено ранжирование вышеуказанных мостов по типовым проектам их пролетных строений, величинами пролетов, видам проектных подвижных нагрузок. Этих мостов на дорогах Украины I, II и III категорий существует около 1200. (См. рис 1 и табл. 1.).

3. Выполненные расчеты показали, что нагрузка от подвижного состава (автотранспорт плюс толпа на тротуарах) в соответствии с ДБН В.1.2.-15: 2009 [3] на пролетное строение увеличилась на 32-65% для мостов, построенных согласно СН 200-62, и 45-61% для мостов, построенных согласно СНиП 2.05.03-84. Однако, увеличение общих нагрузок на фундаменты мостов значительно ниже, поскольку на фундаменты действует постоянная нагрузка от веса пролетных строений и веса опор. Имеет место эффект «сглаживания» временной нагрузки. В связи с этим нагрузка на фундаменты в соответствии с ДБН В.1.2.-15: 2009 увеличилась на 14-20% (для мостов, запроектированных согласно СН 200 - 62) и 17-24% (для мостов, запроектированных согласно СНиП 2.05.03-84). Такие расчеты произведены для мостов с пролетными строениями, которые построены по наиболее распространенным, типовым проектам: Выпуск 122-62, ВТП-16, ВТП-21, Выпуск 384/43.

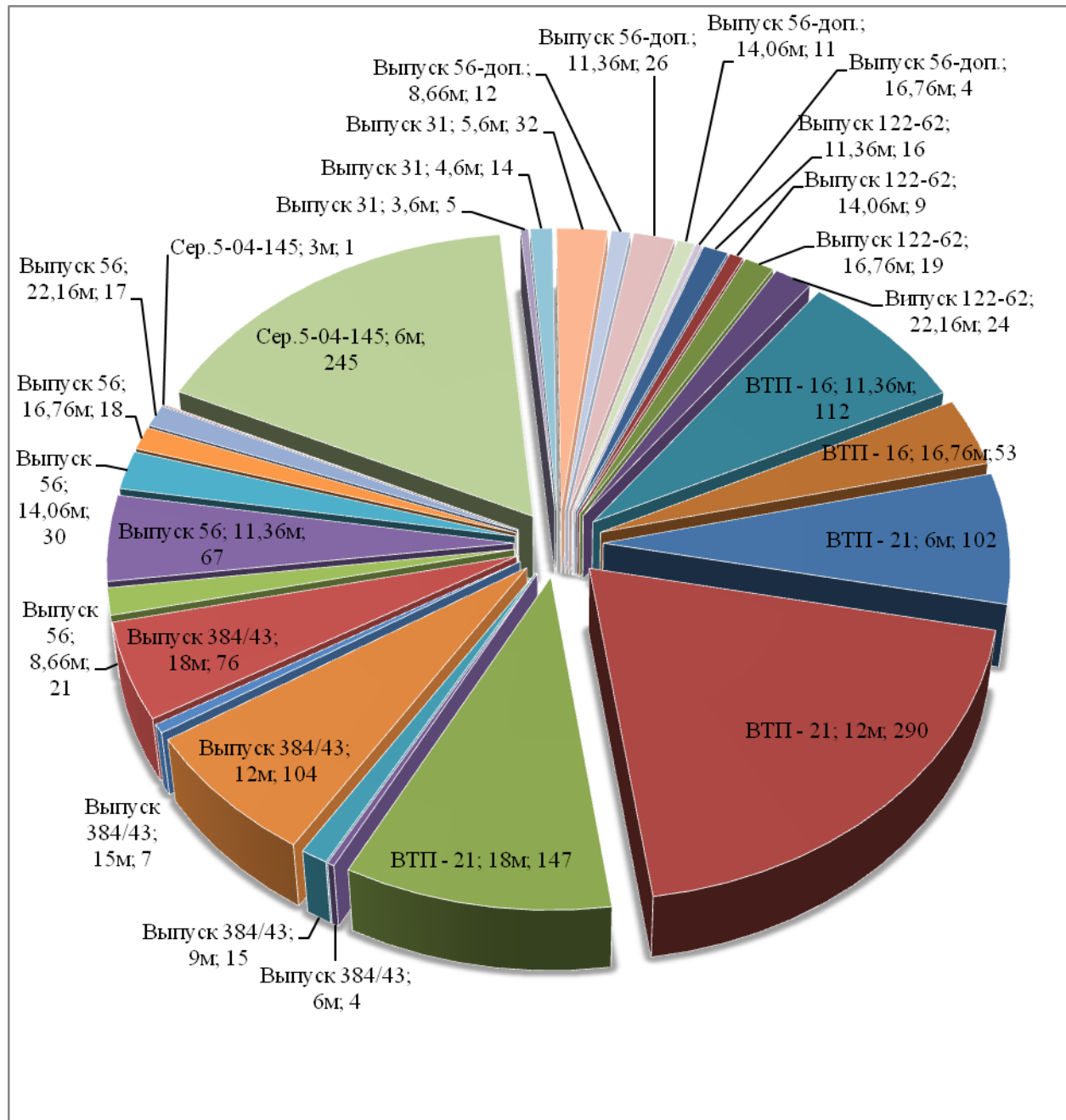


Рис. 1. Распределение рассматриваемых мостов по типу, длине пролётных строений и количеству мостов.

На рисунке 1 и в таблице 1 показаны наиболее распространенные типы пролетных строений, указано количество мостов с соответствующими длинами пролетов. Данные взяты из базы данных аналитической экспертной системы управления мостами АЭСУМ [5] по состоянию на 1 декабря 2010 года.

Табл. 1. Распределение мостов по типу и длине пролётных строений.

| Типовые проекты | Длина пролета, (м) / количество мостов, (шт) |        |        |         |           |          |          |          | Всего |
|-----------------|----------------------------------------------|--------|--------|---------|-----------|----------|----------|----------|-------|
| ВТП - 21        |                                              |        | 6/102  |         | 12/290    |          | 18/147   |          | 539   |
| Сер.5-04-145    | 3/1                                          |        | 6/245  |         |           |          |          |          | 246   |
| Выпуск 384/43   |                                              |        | 6/4    | 9/15    | 12/104    | 15/7     | 18/76    |          | 206   |
| Выпуск 31       | 3,6/5                                        | 4,6/14 | 5,6/32 |         |           |          |          |          | 51    |
| Выпуск 56       |                                              |        |        | 8,66/21 | 11,36/67  | 14,06/30 | 16,76/18 | 22,16/17 | 153   |
| Выпуск 56-доп.  |                                              |        |        | 8,66/12 | 11,36/26  | 14,06/11 | 16,76/4  | 22,16/0  | 53    |
| Выпуск 122-62   |                                              |        |        |         | 11,36/16  | 14,06/9  | 16,76/19 | 22,16/24 | 68    |
| ВТП - 16        |                                              |        |        |         | 11,36/112 |          | 16,76/53 |          | 165   |
|                 |                                              |        |        |         |           |          |          |          | 1481  |

В таблице 2 показан рост нагрузки от транспорта, толпы на тротуарах, а также рост суммарной нагрузки с учетом веса пролётных строений и веса опор на фундамент промежуточной опоры. В таблице введены такие обозначения:

$N_p$  – Временная вертикальная нагрузка от автотранспорта согласно нормам СН 200 – 62 и ДБН В.1.2.-15:2009, т;

$\alpha_1$  - Рост временной вертикальной нагрузки (автотранспорт плюс толпа на тротуарах) на опору при переходе от норм СН 200 – 62 к нормам ДБН В.1.2.-15:2009, %;

$\alpha$  – Рост суммарной нагрузки на фундамент с учетом веса пролетов и опор при переходе от норм СН 200 – 62 к нормам ДБН В.1.2.-15:2009, %.

4. Приняты во внимание процессы, происходящие с фундаментами существующих мостов за время их эксплуатации.

Положительным является процесс уплотнения грунтов основания фундаментов под действующей нагрузкой и повышение в связи с этим несущей способности фундаментов по грунту. Об этом свидетельствуют работы Коновалова П. А. и других авторов.

К отрицательным относятся следующие явления, которые могут иметь место на протяжении жизни моста: частичный размыв грунтов оснований, подмыв свай, разрушение опор и фундаментов по разным причинам (наезд транспорта, ошибки проектировщиков, строительный брак). Указанные выше дефекты должны быть выявлены в процессе плановой эксплуатации моста.

Может иметь место отрицательное трение, когда верхняя часть грунтов основания даёт значительную осадку и при этом дополнительно загружает сваи.

Полагаем, что положительные процессы в большинстве случаев преобладают.

Табл. 2. Рост нагрузки на опоры и фундаменты мостов с пролётами, запроектированными по типовым проектам, в зависимости от транспортных нагрузок: расчётные показатели от влияния проектной – Н-30 (по СН 200 - 62) и действующей – А-15 (по ДБН В.1.2.-15:2009) нагрузок.

| Типовой проект | Длина пролётного строения, м | Временная нагрузка от автотранспорта, $N_p$ , т |                            | $\Sigma$ Временная нагрузка от автотр-та и толпы на тротуарах, т |                            | Рост временной нагрузки на опоры, $\alpha_1$ , % | Рост суммарной нагрузки на фундамент с учетом веса пролетов и опор, $\alpha$ , % |
|----------------|------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|                |                              | Н-30<br>СН 200-62                               | А-15<br>ДБН В.1.2.-15:2009 | Н-30<br>СН 200-62                                                | А-15<br>ДБН В.1.2.-15:2009 |                                                  |                                                                                  |
| Выпуск 122-62  | 11,36                        | 107,35                                          | 148,54                     | 126,43                                                           | 164,90                     | 37                                               | 16,81                                                                            |
|                | 14,06                        | 90,70                                           | 159,77                     | 114,32                                                           | 180,02                     | 65                                               | 20,23                                                                            |
|                | 16,76                        | 99,11                                           | 171,01                     | 127,27                                                           | 195,14                     | 61                                               | 18,58                                                                            |
|                | 22,16                        | 131,00                                          | 193,49                     | 168,23                                                           | 225,40                     | 41                                               | 14,03                                                                            |
| ВТП-16         | 11,36                        | 107,35                                          | 148,54                     | 126,43                                                           | 164,90                     | 37                                               | 17,00                                                                            |
|                | 16,76                        | 99,11                                           | 171,01                     | 127,27                                                           | 195,14                     | 61                                               | 19,25                                                                            |
| ВТП-21         | 6                            | 87,44                                           | 113,57                     | 97,52                                                            | 122,21                     | 32                                               | 17,90                                                                            |
|                | 12                           | 107,35                                          | 151,2                      | 127,51                                                           | 168,48                     | 39                                               | 16,59                                                                            |
|                | 18                           | 106,45                                          | 176,18                     | 136,69                                                           | 202,10                     | 55                                               | 17,47                                                                            |
| Выпуск 384/43  | 6                            | 87,44                                           | 113,57                     | 97,52                                                            | 122,21                     | 32                                               | 15,89                                                                            |
|                | 9                            | 97,90                                           | 130,11                     | 113,02                                                           | 143,07                     | 33                                               | 15,29                                                                            |
|                | 12                           | 107,35                                          | 151,2                      | 127,51                                                           | 168,48                     | 39                                               | 15,06                                                                            |
|                | 15                           | 92,74                                           | 163,69                     | 117,94                                                           | 185,29                     | 65                                               | 19,27                                                                            |
|                | 18                           | 106,45                                          | 176,18                     | 136,69                                                           | 202,10                     | 55                                               | 16,03                                                                            |

5. Поставленная задача по выявлению запасов прочности фундаментов имеет значительные элементы неопределенности, поскольку многие факторы остаются неизвестными. Как правило, отсутствует информация о грунтах оснований, типах и размерах фундаментов. Рассматриваются мосты разных пролётов, построенные в разных регионах Украины по разным типовым проектам в различных инженерно геологических условиях.

Гипотетически в такой ситуации может иметь место следующий формальный подход: «Фундаменты рассчитаны на устаревшие нагрузки. Эти нагрузки увеличились. Соответственно, необходимо сделать новые расчеты и усилить фундаменты ».

Однако в данной работе принят иной подход. Напомним, что расчет фундаментов осуществляется методом предельных состояний, который

обеспечивает определенные резервы прочности конструкций. Кроме того, эти фундаменты прошли опытную проверку временем. К элементам определенности относятся данные типовых проектов конструкций пролетных строений, величины старых и новых нагрузок. Оценка резервов, упомянутых выше, является предметом данной работы.

6. В инженерной практике существует понятие «определяющий расчет конструкции». Это тот расчет, требования которого для данной конструкции труднее всего удовлетворить. В рассматриваемой задаче определяющим будет расчет несущей способности фундамента по грунту, поскольку в большинстве случаев запасы прочности по материалу фундамента больше. Осуществлен анализ влияния новой вертикальной нагрузки. Горизонтальная нагрузка от торможения по новым нормам (ДБН В.1.2-5.2009) менее устаревшей по нормам СН 200 - 62. Кроме того, высота опор, тип и глубина, заложения фундаментов часто неизвестны.

Разумеется, могут иметь место ситуации, когда для свай большой длины в слабых грунтах определяющим будет расчет прочности по материалу. Однако, для большинства фундаментов мостов, которые рассматриваются, определяющим будет расчет прочности по грунту.

Заметим, что в новых нормах увеличена и одиночная нагрузка: от НК-80 перешли к НК-100. Однако эта нагрузка для фундаментов не является определяющей.

7. Особенностью поставленной задачи является значительная неопределенность, связанная со следующими обстоятельствами.

Рассматриваются мосты с различными величинами пролетов и с различными конструктивными решениями, и потому увеличение нагрузки на фундаменты будет разным.

Различны природные условия мостовых переходов, различные условия проектирования, строительства и эксплуатации моста. Об этом сказано ниже.

Различны гидрологические условия: возможен размыв грунта вокруг свай, повреждение свай льдинами.

Различны и инженерно-геологические условия. В сложных грунтах проектные решения могут быть несовершенными. Изменение природных условий во времени. Процесс засасывания свай. Отрицательное трение.

Ошибки, дефекты, недостатки, связанные с проектированием, строительством, эксплуатацией мостов.

Различная техническая культура проектных, строительных, эксплуатационных организаций. Человеческий фактор. Изменение этих факторов во времени.

Наименее определенными являются фундаменты с висячими сваями и потому их оценка является для данной задачи определяющей.

Многие факторы строительства, определяющие прочность конструкции, являются случайными в математическом смысле, т.е. обладают статистической устойчивостью. Это позволяет использовать теорию надежности конструкций. Правда, говоря нестрого, статистическая устойчивость свойств грунтов ниже статистической устойчивости свойств строительных материалов. Однако говорить о полной неопределенности ситуации нельзя, поскольку здесь действуют и определенные факторы, учет которых может быть использован для решения поставленной задачи. К определенным факторам относятся расчетные нагрузки, действующие ранее и современные.

8. Для оценки резервов существующих фундаментов использованы методы теории надежности конструкций, в частности, модели А. Р. Ржаницина [6].

А. Р. Ржаницин предложил оценить надежность конструкций с помощью «характеристики безопасности», согласно действующим нормам ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009 [4], она обозначается -  $\beta$

$$\beta = \frac{\xi - 1}{\sqrt{A_Q^2 + \xi^2 \cdot A_R^2}} \quad (1)$$

Здесь  $\tilde{R}$  и  $\tilde{Q}$  - это обобщенные прочность и воздействие, случайные величины.

$\xi$  - коэффициент запаса, отношение математических ожиданий  $R$  и  $Q$ .

$$\xi = \frac{\bar{R}}{\bar{Q}}$$

$A_R$  и  $A_Q$  - коэффициенты вариации величины  $\tilde{R}$  и  $\tilde{Q}$ . Определив характеристику безопасности  $\beta$ , по таблицам функции Лапласа можно перейти к вероятности безотказной работы конструкции  $P$ . Так, например, для  $\beta = 2$ ,  $P = 0,9772$ , для  $\beta = 3$ ,  $P = 0,9986$ .

Коэффициент запаса  $\xi$  найден путем расшифровки «коэффициентов перегрузки»  $n$  (термин СН 200 – 62) временной и постоянной нагрузок и с учетом коэффициента  $m=0,7$  (расчет несущей способности сваи по грунту)  $\xi = \frac{1}{m} \cdot n_{ср} = \frac{1}{0,7} \cdot 1,15 = 1,64$ .

Для оценки надежности прочности сваи по грунту  $\tilde{Q}$  - это внешнее воздействие на сваю, зависящее от постоянных и временных нагрузок;  $\tilde{R}$  - это несущая способность сваи по грунту, зависящая от физико-механических характеристик грунтов основания;  $A_R$  - отражает изменчивый характер прочностных свойств грунтов;  $A_Q$  - отражает изменчивый характер нагрузки.

Можно принять:  $A_Q = 0,05$ ;  $A_R = 0,08$ .

Выражение (1) удобно тем, что оно позволяет оценить надежность, используя обобщенные характеристики  $\xi$ ,  $A_R$ ,  $A_Q$ , не вдаваясь в подробности, присущие каждой конструкции.

Поскольку для большого массива фундаментов рассматриваемых мостов инженерно-геологические условия разные, мы варьировали значениями  $\xi$ ,  $A_R$ ,  $A_Q$  в некоторых разумных, типичных для условий Украины пределах.

Кроме того, применен еще один прием для смягчения неопределённости, свойственной данной вероятностной задаче. За основу решения о величине резервов прочности фундаментов приняты не значения показателя надежности  $P$ , а сопоставление разности значений  $P$  для фундамента при воздействии старой и новой нагрузок.

Получены значения показателей надежности несущей способности свай по грунту (табл. 3 и 4) при  $\xi = 1,64$ ;  $A_Q = 0,05$ ;  $A_R = 0,08$ .

Эталонная надежность при этом равна

$$\beta = \frac{1,64-1}{\sqrt{0,05^2+1,64^2-0,08^2}} = 4,558257, \quad P = 0,999997$$

То есть это оценка надежности фундамента, запроектированного по СН 200 – 62, на который действует нагрузка, определенная по этим же нормам.

Оценим затем надежность этого же фундамента при условии, что действует современная увеличенная нагрузка (увеличение нагрузки на фундамент на 14-20%).

$$\text{Тогда } \xi' = \frac{\xi}{\alpha}; \quad \xi_1' = \frac{1,64}{1,14} = 1,44; \quad \xi_1' = \frac{1,64}{1,20} = 1,37.$$

Результаты приведены в табл.3.

Табл.3 Сводная таблица расчёта характеристики безопасности и оценки надёжности фундаментов при min % и max % роста временной нагрузки на фундамент.

| Нормы и нагрузки                                   | $A_Q$       | $A_R$       | $\alpha$ | $\xi^H$     | $\beta$         | $P$             |
|----------------------------------------------------|-------------|-------------|----------|-------------|-----------------|-----------------|
| Н-30 (СН 200-62) и А-15 (ДБН В.1.2.-15:2009) min % | 0,05        | 0,08        | 1,14     | 1,44        | 3,503664        | 0,9997674       |
| Н-30 (СН 200-62) и А-15 (ДБН В.1.2.-15:2009) max % | 0,05        | 0,08        | 1,20     | 1,37        | 3,071395        | 0,998806        |
| <b>Эталонная надежность</b>                        | <b>0,05</b> | <b>0,08</b> |          | <b>1,64</b> | <b>4,558257</b> | <b>0,999997</b> |

Значения  $A_Q$ ,  $A_R$  в зависимости от конкретных условий мостового перехода (различные грунты) могут колебаться в ту или иную сторону.

При большем разбросе случайных факторов:  $A_Q = 0,06$ ;  $A_R = 0,10$ ;  $\xi = 1,64$ , эталонный уровень надежности будет равен:

$$\beta = \frac{1,64-1}{\sqrt{0,06^2+1,64^2-0,10^2}} = 3,66487; \quad P = 0,999856,$$



где  $A_Q = 0,06$ ;  $A_R = \frac{0,24}{\sqrt{6}} = 0,10$ .

Табл.4 Сводная таблица расчёта характеристики безопасности и оценки надёжности фундаментов при min % и max % роста временной нагрузки на фундамент. (при другой изменчивости – иные грунтовые условия и характеристики нагрузки).

| Нормы и нагрузки                                   | $A_Q$       | $A_R$      | $\alpha$ | $\xi^H$     | $\beta$        | $P$              |
|----------------------------------------------------|-------------|------------|----------|-------------|----------------|------------------|
| Н-30 (СН 200-62) и А-15 (ДБН В.1.2.-15:2009) min % | 0,06        | 0,1        | 1,14     | 1,44        | 2,813853       | 0,9975356        |
| Н-30 (СН 200-62) и А-15 (ДБН В.1.2.-15:2009) max % | 0,06        | 0,1        | 1,20     | 1,37        | 2,456606       | 0,9929265        |
| <b>Эталонная надёжность</b>                        | <b>0,06</b> | <b>0,1</b> |          | <b>1,64</b> | <b>3,66487</b> | <b>0,9998336</b> |

9. В дальнейших оценках надёжности учтена неточность аналитического метода расчета несущей способности свай по грунту. Такой неточностью обладает как сама расчетная модель, так и характеристики грунтов, полученные в процессе инженерно-геологических изысканий.

$$\beta = \frac{\xi - 1}{\sqrt{A_Q^2 + \xi^2 \cdot A_R^2 + \xi^2 \cdot \sigma_{\Delta}^2}}$$

Здесь  $\bar{\Delta}$  - относительная погрешность расчета с характеристиками  $\bar{\Delta} = 0,1$ ,  $\sigma_{\Delta} = 0,10$ , где  $\sigma_{\Delta}$  - стандарт (среднее квадратическое) погрешности, а  $\bar{\Delta}$  - ее среднее значение.

В табл. 5 и 6 приведены значения  $\beta$  и  $P$ , полученные с учетом неточности аналитического метода.

Табл.5 Оценка надёжности фундаментов с учетом неточности аналитического метода при min % и max % роста временной нагрузки на фундамент при  $A_Q = 0,05$ ;  $A_R = 0,08$ .

| Нормы и нагрузки                                   | $A_Q$       | $A_R$       | $\alpha$ | $\xi^H$     | $\sigma_{\Delta}$ | $\beta$         | $P$              |
|----------------------------------------------------|-------------|-------------|----------|-------------|-------------------|-----------------|------------------|
| Н-30 (СН 200-62) и А-15 (ДБН В.1.2.-15:2009) min % | 0,05        | 0,08        | 1,14     | 1,44        | 0,1               | 2,297584        | 0,9892032        |
| Н-30 (СН 200-62) и А-15 (ДБН В.1.2.-15:2009) max % | 0,05        | 0,08        | 1,20     | 1,37        | 0,1               | 2,014422        | 0,9779552        |
| <b>Эталонная надёжность</b>                        | <b>0,05</b> | <b>0,08</b> |          | <b>1,64</b> | 0,1               | <b>2,964443</b> | <b>0,9984651</b> |



Табл.6 Оценка надёжности фундаментов с учетом неточности аналитического метода при min % и max % роста временной нагрузки на фундамент. (при другой изменчивости  $A_Q = 0,06$ ;  $A_R = 0,10$  – иные грунтовые условия и характеристики нагрузки).

| Нормы и нагрузки                                   | $A_Q$       | $A_R$      | $\alpha$ | $\xi^H$     | $\sigma_\Delta$ | $\beta$         | $P$              |
|----------------------------------------------------|-------------|------------|----------|-------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Н-30 (СН 200-62) и А-15 (ДБН В.1.2.-15:2009) min % | 0,06        | 0,1        | 1,14     | 1,44        | 0,1             | 2,067766        | 0,9805638        |
| Н-30 (СН 200-62) и А-15 (ДБН В.1.2.-15:2009) max % | 0,06        | 0,1        | 1,20     | 1,37        | 0,1             | 1,81182         | 0,9649222        |
| <b>Эталонная надежность</b>                        | <b>0,06</b> | <b>0,1</b> |          | <b>1,64</b> | 0,1             | <b>2,671495</b> | <b>0,9961908</b> |

В оценках надежности фундаментов, приведенных выше, была учтена неточность аналитического метода определения несущей способности свай по грунту. О такой неточности известно исследователям [7], эта неточность сама по себе понижает надежность фундамента. Однако, с другой стороны, существует пробная забивка свай и контроль каждой сваи по расчетному отказу. Выше упоминается и фактор уплотнения грунтов основания в процессе эксплуатации моста. Поэтому оценки надежности с учетом неточности аналитического метода здесь предложено рассматривать как дополнительную разведку ситуации.

10. Интерпретация полученных оценок надежности фундаментов. Случайные факторы в рассматриваемых задачах – это физико-механические характеристики грунтов основания и действующие нагрузки. Они характерны для конкретного моста. Пусть надежность фундаментов моста, запроектированного согласно СН 200-62, составляет 0,9984 – 0,9999 . При действии новой нагрузки (согласно ДБН В.1.2.-15:2009) оценка надежности стала 0,9768 . Это означает, что из тысячи аналогичных мостов только примерно для двух нагрузка Н-30 по СН 200-62 была бы чрезмерной, а при действии современной нагрузки А-15 по ДБН В.1.2.-15:2009 таких мостов из тысячи уже стало бы 23 – 36 шт.

Мы намеренно показываем различные оценки надежности фундаментов. Такие оценки будут иметь место среди 1200 рассматриваемых мостов. Важно, что диапазон изменений надежности при переходе от устаревшей нагрузки к нагрузке современной не так велик.

11. Приведенные оценки показывают, что большинство фундаментов рассматриваемых мостов не требуют усиления только на том основании, что увеличилась временная подвижная нагрузка. Однако, те же оценки показали, что существует небольшое количество мостов, надежность и запасы прочности фундаментов которых не достаточны для пропуска по ним новых увеличенных

нагрузок. Понятно, что речь идет о мостах, которые находятся в удовлетворительном техническом состоянии.

Подчеркнем, что полученные выводы не имеют отношения к мостам с явными дефектами, которые возникли как следствие влияния таких факторов, как ошибки при проектировании, дефекты при строительстве, размыв грунтов оснований, наезд транспорта, неудовлетворительная эксплуатация. Эти мосты требуют ремонта, восстановления или усиления в соответствии с требованиями нормативных документов.

12. Возникает довольно сложная задача выявить мосты, фундаменты и опоры которых, хотя и не имеют дефектов, однако и не обладают достаточной надежностью для пропуска новых нагрузок. Эту задачу имеет смысл разделить на два этапа.

На первом этапе предложено выявить зоны риска, т.е. описать те группы мостов, в которых показатели надежности фундаментов небольшие. В таблицах 7, 8 приведены параметры пролетов мостов с минимальными значениями показателей надежности фундаментов. Причинами невысокой надежности таких фундаментов является увеличение временной нагрузки и соответствующих расчетных коэффициентов при переходе на новые нормы.

Табл.7 Сводная таблица расчёта характеристики безопасности и оценки надёжности фундаментов при max % роста нагрузки на фундамент в зависимости от типового проекта и длины пролетного строения. (канонический случай).

| Нормы и нагрузки                                   | Типовой проект | Длина пролёта, м | $A_Q$       | $A_R$       | $\alpha$ | $\xi^H$     | $\beta$         | $P$             |
|----------------------------------------------------|----------------|------------------|-------------|-------------|----------|-------------|-----------------|-----------------|
| Н-30 (СН 200-62) и А-15 (ДБН В.1.2.-15:2009) max % | Выпуск 122-62  | 14,06            | 0,05        | 0,08        | 1,20     | 1,37        | 3,071395        | 0,998806        |
|                                                    | ВТП-16         | 16,76            | 0,05        | 0,08        | 1,19     | 1,38        | 2,061496        | 0,9802572       |
|                                                    | Вып. 384/43    | 15               | 0,05        | 0,08        | 1,19     | 1,38        | 2,061496        | 0,9802572       |
|                                                    | ВТП-21         | 6                | 0,05        | 0,08        | 1,18     | 1,39        | 2,108618        | 0,982481        |
| <b>Эталонная надежность</b>                        |                |                  | <b>0,05</b> | <b>0,08</b> |          | <b>1,64</b> | <b>4,558257</b> | <b>0,999997</b> |

Табл.8 Сводная таблица расчёта характеристики безопасности и оценки надёжности фундаментов при max % роста нагрузки на фундамент в зависимости от типового проекта и длины пролетного строения. (при другой изменчивости случайных факторов).

| Нормы и нагрузки                                   | Типовой проект | Длина пролёта, м | $A_Q$       | $A_R$      | $\alpha$ | $\xi^R$     | $\beta$        | $P$              |
|----------------------------------------------------|----------------|------------------|-------------|------------|----------|-------------|----------------|------------------|
| Н-30 (СН 200-62) и А-15 (ДБН В.1.2.-15:2009) max % | Выпуск 122-62  | 14,06            | 0,06        | 0,1        | 1,20     | 1,37        | 2,456606       | 0,9929265        |
|                                                    | ВТП-16         | 16,76            | 0,05        | 0,08       | 1,19     | 1,38        | 2,515814       | 0,994035         |
|                                                    | Вып. 384/43    | 15               | 0,05        | 0,08       | 1,19     | 1,38        | 2,515814       | 0,994035         |
|                                                    | ВТП-21         | 6                | 0,05        | 0,08       | 1,18     | 1,39        | 2,575157       | 0,994955         |
| <b>Эталонная надёжность</b>                        |                |                  | <b>0,06</b> | <b>0,1</b> |          | <b>1,64</b> | <b>3,66487</b> | <b>0,9998336</b> |

13. Среди мостов «зоны риска» представляют интерес эстакадные мосты со свайными опорами. Поскольку, во-первых, вес опор и фундаментов здесь невелик и рост временной нагрузки на фундамент при этом существенный. Во-вторых, динамическое воздействие транспорта здесь не гасится массивной опорой. Эти мосты являются своего рода «индикаторами» рассматриваемой ситуации. Особый интерес представляют такие мосты на подъездных дорогах к карьерам, заводам железобетонных конструкций, на подъездах к строящимся дорогам, то есть там, где задействован большегрузный транспорт.

Другой интересной группой для данного исследования являются мосты, проезжая часть которых уширялась без устройства дополнительных усиления фундаментов. Обоснованием таких действий была ссылка на процесс уплотнения грунта оснований под действием многолетней нагрузки. Таких уширенных мостов немного, положительный опыт увеличения нагрузки на фундамент полезен для настоящего исследования.

В дальнейшем планируется произвести анализ состояния мостов, принадлежащих к «зоне риска», в первую очередь, их опор и фундаментов. Полагаем, что это внесет свои коррективы в данное исследование.

14. На втором этапе выявления ненадёжного объекта оцениваются фундаменты конкретного моста. Определение мостов, не нуждающихся в усилении фундаментов, и выявление мостов, нуждающихся в таком усилении, рекомендуется проводить методом экспертных оценок. Предложена следующая процедура такой экспертной оценки:

- Определяется, находится ли мост в зоне риска, описанной выше.

- Устанавливается факт отсутствия явных дефектов конструкций моста, отрицательных моментов во время эксплуатации. Дефекты надземных конструкций характеризуют недостаточный уровень технической эксплуатации моста. Причиной силовых трещин в пролетном строении может быть и повышенная интенсивность нагрузок. Фундаменты таких мостов требуют повышенного внимания.
- Оценивается «история жизни» моста: дата строительства, проектный институт, строительная организация, запланированные или незапланированные ремонтные работы, характер пропускаемой нагрузки;
- Осуществляется нивелировка оси проезжей части моста. Отсутствие «гладкости» оси может быть признаком недопустимых осадок фундаментов. Здесь требуется детальное пояснение.

В теории надежности конструкций существует понятие четкого и нечеткого отказа. Пример четкого отказа - хрупкое разрушение конструкции. Для нечеткого отказа характерно постепенное нарастание процесса, например, недопустимое раскрытие трещин в железобетонных конструкциях.

Отказ несущей способности висячей сваи по грунту происходит следующим образом. Сначала свая проскальзывает миллиметров на пять, силы трения по боковой поверхности исчезают, лобовое сопротивление исчезает при деформации около 20 мм. На этом этапе может включиться в работу плита свайного ростверка. В данной ситуации наблюдается нечеткий отказ, начало которого сигнализирует об опасности.

Предварительные результаты и планы дальнейшей работы.

Временная подвижная нагрузка на пролетное строение увеличилась на 32-65%, суммарная нагрузка на фундаменты увеличилась на 14-24%, так как значительная часть нагрузки – постоянная, осталась прежней.

Произведены оценки надежности показали, что большинство фундаментов рассматриваемых мостов не требуют усиления и способны пропускать новые увеличенные нагрузки. Однако существует небольшое количество мостов, порядка 3-5%, надежность и запасы прочности фундаментов которых не достаточны для пропуска по ним новых увеличенных нагрузок. Намечены меры выявления таких мостов. Понятно, что эти выводы относятся к мостам, которые находятся в удовлетворительном техническом состоянии и успешно пропускают нагрузку, на которую в своё время были рассчитаны.

В дальнейшем предполагается провести следующие работы:

Собрать сведения о состоянии опор и фундаментов мостов «зоны риска».

По возможности уточнить уровень реальных подвижных нагрузок и тенденции их роста.

### Литература:

1. СН 200-63. Технические условия проектирования мостов и труб. М., 1962.
2. СНиП 2.05.03-84. Строительные нормы и правила. Мосты и трубы. М., 1985.
3. ДБН В.1.2-5:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. Київ, 2009.
4. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ, 2009.
5. Аналитическая экспертная система управления мостами (АЭСУМ), разработана по заказу Укравтодора.
6. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М., 1978.
7. Глотов Н.М., Луга А.А., Силин К.С., Завриев К.С. Свайные фундаменты. М., 1975.

### Анотація.

Фундаменти існуючих мостів малих прольотів, запроектованих в минулому столітті за типовими проектами під застаріле навантаження, мають запаси міцності, закладені методом граничних станів. Запропоновано використовувати ці запаси, а для їх оцінки використати методи теорії надійності.

### Annotation.

The foundations of existing bridges of small spans, projected in the last century on the basis of the standard projects under the old load, have reserves of strength that has been laid down by the limit state method. It was proposed to use these resources, and to evaluate them to apply the methods of reliability theory.