

## **ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ И АРХИТЕКТУРНЫХ ПАМЯТНИКОВ В ДЖАЙПУРЕ И ДЖАЙСАЛМЕРЕ (ИНДИЯ)**

**Х. К. ШАРМА** – инженер, член ISSMGE, Правительство Раджастанхана,  
г. Джайпур, Индия.

Рассматриваются геотехнические аспекты проблем сохранения памятников культуры штата Раджастанхана в Индии. Описаны основные причины разрушения памятников, а также меры по их спасению, включающие водоотведение, повышение устойчивости откосов, применение геотекстиля.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Восхитительные и искусно отделанные исторические здания и архитектурные памятники в Джайпуре – свидетельства славного прошлого династии Раджпутов – в течение сотен лет противостояли разрушительному влиянию времени, подвижкам земли и эрозии, хотя способы устройства фундаментов этих сооружений и свойства грунтов под ними не способствовали их сохранению в течение столь длительного времени. Раджа Кунд («королевский резервуар») в местечке Галтаджи Тирт имеет важное культовое значение в индуизме. Это был источник воды, протекающей через несколько расположенных подряд кундов (резервуаров, построенных между холмами в Галтаджи) и впадающей в резервуар Гомук («рот коровы»). Раджа Кунд и два других кунда были полностью разрушены во время наводнения 1981 г.: они были засыпаны песком и валунами, принесенными водой с расположенных неподалеку песчаных дюн и дамб, заполненных горной породой. Раджа Кунд восстановили, а склон песчаной дюны укрепили с помощью натурального геотекстиля и растительности.

Крепость Джайсалмер расположена в пустыне Тар в Раджастанхане. Она включена Всемирным фондом охраны памятников культуры и архитектуры в список строений, нахо-

дящихся на грани уничтожения. Крепость, населенная до сих пор, находится на грани разрушения из-за проблемы с конструкциями фундаментов. Проблема возникла из-за протечек канализационных и дождевых вод в основания зданий, возведенных на рыхлых песках и песчанике холма Трикута. Из 469 исторических построек полностью обрушились 87 и примерно 150 имеют частичные разрушения. Многие из 99 бастионов потеряли устойчивость, подпорная стена в основании склона холма разрушена в нескольких местах. Джайсалмер находится в третьей сейсмической зоне, Джайпур – во второй.

Сейчас предпринимаются попытки сохранить эти исторические памятники путем их ремонта, реставрации и консервации с использованием как традиционных, так и современных материалов и технологий. Работы сфокусированы на реставрации конструкций и их оснований, а также восстановлении дренажной и канализационной систем, включая постройку туалетов. Знания в сфере геотехники являются решающим фактором в процессе реставрации и в сохранении величайших индийских архитектурных памятников в Джайсалмере и Джайпуре.

### **1. РАДЖАСТХАН**

Индийский штат Раджастанхан – истинная сокровищница, известная своими непобедимыми крепостями, великолепными дворцами, эле-

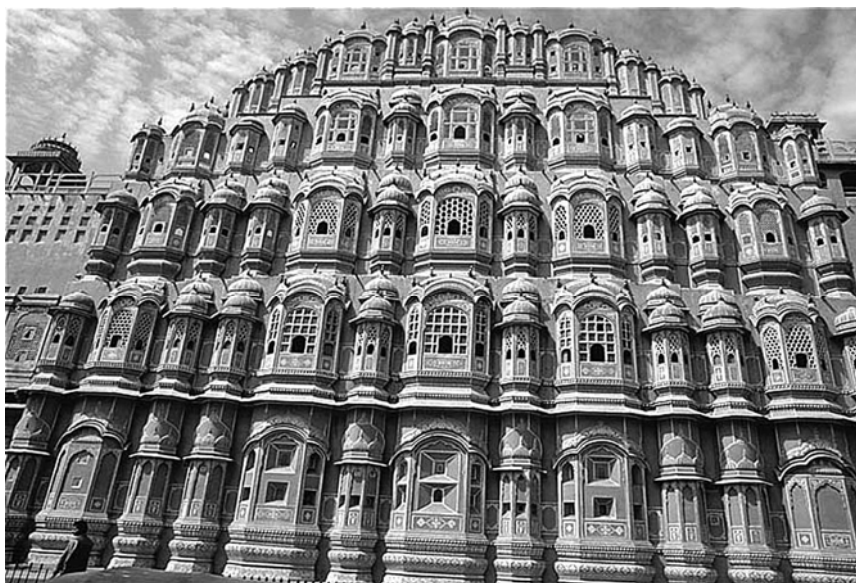


Рис. 1. Джайпур. Хава-Махал (Дворец ветров)

гантными домами, древней культурой, историческим наследием, а также золотыми песчаными дюнами Великой Индийской пустыни. На этой земле героизма и рыцарства расположены два исторических города: Джайпур – столица штата и «золотой город» Джайсалмер.

## 2. ДЖАЙПУР

Джайпур («Розовый город») – старая столица страны. Город и одноименное государство, образованное в 1727 г. н. э., носили имя своего основателя Савай Джай Сингха II, который был не только великим правителем, но также известным математиком и астрологом. Джайпур – это тщательно спланированный город, расположенный на равнине. Он может быть назван первым городом Индии, построенным по плану. Довольно широкие дороги пересекались под прямым углом, весь город был поделен на прямоугольные районы и окружен стеной *паркота* с огромными воротами, защищавшей город. В 1876 г. Джайпур был окрашен в розовые тона в честь приезда принца-консорта Альберта, супруга королевы Виктории, и с тех пор за ним закрепилось название «розовый город». Хава-Махал (Дворец ветров), Джантар-Мантар (обсерватория), Городской дворец (семиэтажное здание) (рис. 1–3), Альберт Холл, храм Радхакришнад-

жи, Исвари Лат – все эти прекрасные здания отделаны изящной резьбой и являются ценными архитектурными памятниками.



Рис. 2. Джайпур. Обсерватория Джантар-Мантар, построенная Савай Джай Сингхом II в XVIII в.

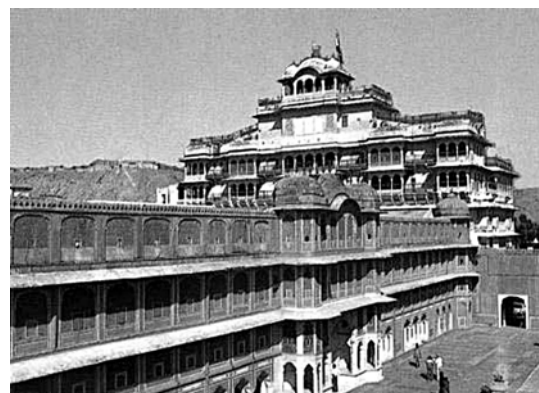


Рис. 3. Джайпур. Городской дворец

Рядом с Джайпуром над грядой скалистых холмов возвышается Амбер, являвшийся в течение 6 веков (до основания Джайпура) столицей королей Качхаваха. Крепость Амбер примечательна величественным окружением, прочностью стен и красотой дворцов, защищенных двумя крепостными стенами (внешней и внутренней) со стратегическими входными воротами (рис. 4). Храмы Джагат Широмани и Нарсингджи – изящно отделанные религиозные и исторические здания, Сагар и Панна Миан Ка Кунд – историческое место отдыха и водный резервуар. Сейчас эти два исторических места объединены разросшимся современным городом Джайпур и управляются Джайпурской муниципальной корпорацией.



Рис. 4. Вход в крепость Амбер

### 2.1. Фундаменты исторических зданий в Джайпуре

Фундаменты исторических зданий в Джайпуре были тщательно спроектированы и успешно противостоят влиянию времени. Фундамент стены *паркота* (периферийной стены) был широким, но неглубоким. Стена *паркота* состоит из двух или трех стен, пространство между которыми заполнено землей. Фундаменты зданий заложены на большей глубине; причем, чем важнее здание, тем глубже его фундамент. Метод строительства и глубина заложения фундамента были напрямую связаны с финансовым и социальным статусом заказчика. Распространенный метод устройства фундамента обычных жилых зданий, дошедших до наших дней без повреждений, состоял в следующем: глубина выемки под фундамент для обычного жилого дома по

неписаному правилу составляла половину здания, а ширина – 3 ширины стены. Траншею основания на два дня заполняли водой. Затем в нее бросали тяжелые камни для уплотнения грунта основания. Следующие слои – булыжники меньшего размера и грунт – уплотняли с помощью выдержанных в воде бревен. На этом основании устраивали фундаментную каменную кладку на традиционном растворе из извести-*суркхи* в пропорции 1:2. Для устройства каменной кладки использовали пиленные камни, валуны, перевязочные камни, тычки и т. п. без пустот. Чтобы исключить протечку воды, использовали гидроизолирующий слой из плит местного камня со свинцовым заполнением швов кладки. Таким образом, вода не могла проходить по каменной кладке. Там, где здания строились на горной породе, стыки между камнями герметизировали свинцом. Для строительства применяли местные материалы: известь, *суркхи*, золу и традиционные смеси – *гур* (меласса), *гул*, *нишла тотта* (медный купорос), *мети* (пажитник) и т. п. Подготовка и отбор материалов осуществлялись очень тщательно, чтобы избежать попадания негашеной извести или менее качественных веществ.

### 2.2. Работы по сохранению памятников культуры

Сохранение исторических зданий и архитектурных памятников находится под контролем правительства штата. Реставрационные работы проводятся с использованием традиционных материалов и технологий. Во время этих работ было обнаружено, что здания с глубоким заложением фундамента остались неизменными, а в стене *паркота*, фундаменты которой неглубоки, были выявлены разрушения в кирпичной кладке. Характер деформаций и отклонение стены от линии отвеса указывают на подвижки конструкции, вызванные подвижками грунта. Джайпур находится во второй сейсмической зоне и пережил за последние 300 лет несколько небольших землетрясений. Деформации кирпичной кладки стены были вызваны трещинами, заделанными ранее, из-за чего толщина штукатурного слоя возросла до 6...7 дюймов против обычных 1...2 дюймов, принятых в то

время. Характеристики грунтов (табл. 1–3) были определены до начала реставрационных работ. Были устроены две скважины диаметром 100 мм и глубиной 25 м или до отказа и проведены стандартные испытания статическим зондированием, согласно IS 2131, 2132. Извлеченные образцы грунта с ненарушенной структурой испытывались в лабораторных условиях в соответствии с индийскими нормами. Были проведены следующие испытания: 1 – испытания на сдвиг, 2 – определение плотности грунта, 3 – определение естественной влажности, 4 – определение объемной массы в сухом состоянии, 5 – анализ на просеивание, 6 – испытания ареометром, 7 – определение пределов Аттерберга, 8 – определение удельного веса грунта. Результаты испытаний зондированием и лабораторных испытаний показали, что грунты в данной местности состоят в основном из мелкозернистых пылеватых песков. Величины  $N_c$  по данным испытаний на стандартное зондирование, говорят о том, что до глубины 1,0 м они рыхлые, а ниже отметки в 3,0 м – плотные. Грунты являются непластичными и несвязными.

### 3. ДЖАЙСАЛМЕР

Джайсалмер расположен в огромной и суровой пустыне Тар в штате Раджастан с координатами 26°52' северной долготы и 70°55' восточной широты. Этот город-крепость XII столетия все еще сохраняет свой средневековый характер и очарование. Крепость действует и поныне, она стоит на вершине холма Трикута (холм с тремя вершинами), возвышаясь на 80 м над современным городом Джайсалмер (рис. 5).



Рис. 5. Город-крепость Джайсалмер

Таблица 1. Результаты испытаний на динамическое зондирование (скважина № 1)

| Глубина от дневной поверхности, м | Фактическое значение $N$ | Поправочный коэффициент | Исправленное значение $N_p$ | Исправленное значение $N_p'$ | Грунты          |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------|
| 1,50                              | 9                        | 1,51                    | —                           | —                            | Пылеватые пески |
| 3,00                              | 13                       | 1,26                    | —                           | —                            |                 |
| 3,75                              | U.D.S.                   | 1,18                    | —                           | —                            |                 |
| 4,50                              | 23                       | 1,11                    | 13,59                       | 14                           |                 |
| 5,25                              | U.D.S.                   | 1,06                    | 16,38                       | 16                           |                 |
| 6,00                              | 26                       | 1,01                    | —                           | —                            |                 |
| 6,75                              | U.D.S.                   | 0,96                    | 25,53                       | 26                           |                 |
| 7,50                              | 30                       | 0,92                    | —                           | —                            |                 |
| 8,25                              | U.D.S.                   | 0,89                    | 26,26                       | 26                           |                 |
| 9,00                              | 80                       | 0,86                    | —                           | —                            |                 |
| 10,50                             | 73                       | 0,81                    | 27,6                        | 28                           | То же с гравием |
| 11,00                             | U.D.S.                   | —                       | —                           | —                            |                 |
| 12,00                             | 59                       | 0,76                    | 68,8                        | 69                           |                 |
| 12,75                             | U.D.S.                   | 0,74                    | 59,13                       | 59                           |                 |
| 13,50                             | >100                     | 0,72                    | —                           | —                            |                 |
| 15,00                             | >100                     | 0,68                    | 44,84                       | 45                           |                 |
| 15,75                             | U.D.S.                   | 0,67                    | —                           | —                            |                 |
| 16,50                             | 75                       | 0,66                    | —                           | —                            |                 |
| 18,00                             | >100                     | 0,63                    | —                           | —                            |                 |
| 18,75                             | U.D.S.                   | 0,615                   | —                           | —                            | Пылеватые пески |
| 19,50                             | 92                       | 0,6                     | 49,5                        | 50                           |                 |
| 21,00                             | >100                     | 0,58                    | —                           | —                            |                 |
| 21,75                             | U.D.S.                   | 0,56                    | —                           | —                            |                 |
| 22,50                             | >100                     | 0,55                    | 55,2                        | 55                           |                 |
| 24,00                             | >100                     | 0,53                    | —                           | —                            |                 |
| 24,75                             | U.D.S.                   | 0,52                    | —                           | —                            |                 |
| 25,00                             | >100                     | 0,52                    | —                           | —                            |                 |

Крепость Джайсалмер трижды включалась в список 100 культурных и архитектурных строений, находящихся на грани уничтожения, который составляет Всемирный фонд памятников культуры и архитектуры (в 1996, 1998 и 2000 гг.).

Крепость защищена тремя стенами и имеет 99 бастионов. Внешняя стена была построена из блоков песчаника, не соединенных раствором. Невероятно, но частично эта стена сохранилась до наших дней. Тяжелые блоки соединялись друг с другом с помощью выступов и выемок. Вторая стена протянулась

вокруг крепости, между ней и внутренней (третьей) стеной раджпутские защитники крепости обливали противника горячим маслом и кипящей водой. На территории крепости расположено много домов из песчаника, фасады которых украшены замысловатой резьбой, причем ни один узор не повторяется ни на одном другом фасаде. Патвон Ки Хавели – самое величественное из зданий – украшен прекрасными резными балконами. Красивую и элегантную резьбу мы видим на фасадах и колоннах, в длинных коридорах и комнатах дома (рис. 6).

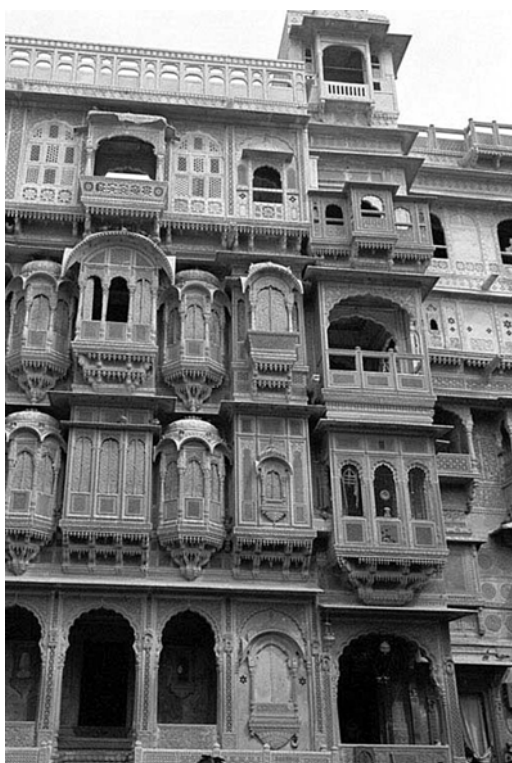


Рис. 6. Джайсалмер. Патвон Ки Хавели

Салим Сингх Хавели, Натхмали Хавели, джайнские храмы, библиотека Гьян Бхандар и 5 дворцов связаны между собой за семиэтажным фасадом и являются величайшими памятниками архитектуры. Чтобы войти в крепость, нужно пройти через первые ворота, затем еще несколько массивных ворот по большой каменной рампе и, наконец, попасть в большой внутренний двор.

### *3.1. Нынешнее состояние крепости*

Крепость Джайсалмер построена на сухом песчанике, под слоем которого находится слой бентонитовой глины, затем идут песчаные отложения и снова пласт песчаника. Таким образом, основание крепости состоит из напластования многих слоев грунта. Древний город был построен без соответствующей системы отвода дождевых и сточных вод. Положение ухудшалось из-за увеличения бытовых стоков в связи с возрастающим числом жителей и туристов. Старая дренажная система, состоявшая из открытых водостоков, проложенных вдоль улиц, была построена в соответствии с требованиями того времени. Муссонные дожди и сточные воды в городе без должной дренажной системы, строительство новых домов, препятствующих стоку дождевой воды – все это привело к просачиванию воды в фундаменты, которая насыщает монтмиллонитовую глину, находящуюся под ними.

В подобных глинах связь между основными слоями относительно слаба, и вода может легко проникнуть между ними, разделяя их и вызывая изменения объема в самом кристалле. Набухание глины привело к появлению трещин в стенах и полному или частичному обрушению отдельных зданий. Из 469 исторических зданий полностью разрушены 87, а еще 150 частично обрушились на землю. Многие из 99 бастионов неустойчивы, подпорная стена в основании холма разрушена в нескольких местах. После сезона муссонов в 1993 г. 250 исторических зданий полностью или частично обрушились, а в 1999 г., когда за 48 часов выпало 6 дюймов осадков, обрушились 3 бастиона крепости XII в. Эти разрушения обусловлены проникновением воды, водонасыщением и последующим набуханием глины, приводящим к потере устойчивости зданий.

### *3.2. Решения по реконструкции города-крепости*

Для решения проблемы необходимо построить соответствующую канализационную систему для отвода сточных и дождевых вод, снести все незаконно построенные сооруже-

Таблица 2. Результаты лабораторных испытаний (скважина № 1)

| Характеристики грунтов                         | Глубина от дневной поверхности, м |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                | 3,75                              | 5,25  | 6,75  | 8,25  | 11,25 | 12,75 | 15,75 | 18,75 | 21,75 | 24,75 |
| Анализ на просеивание, %:                      |                                   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| глина                                          | 2,21                              | 3,05  | 2,05  | 1,89  | 2,56  | 2,80  | 2,10  | 2,35  | 3,01  | 2,99  |
| осадочные породы                               | 27,10                             | 27,48 | 17,83 | 24,54 | 19,74 | 23,40 | 32,57 | 22,63 | 14,82 | 18,88 |
| мелкозернистый песок                           | 70,11                             | 68,54 | 76,76 | 71,33 | 76,40 | 72,22 | 54,03 | 71,05 | 78,58 | 77,28 |
| среднезернистый песок                          | 0,58                              | 0,45  | 1,41  | 0,61  | 0,64  | 0,37  | 7,34  | 2,36  | 1,03  | 0,67  |
| крупнозернистый песок                          | 0                                 | 0,48  | 0,83  | 0,76  | 0,66  | 1,21  | 3,96  | 1,61  | 2,56  | 0,18  |
| гравий                                         | 0                                 | 0     | 1,12  | 0,87  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| пределы Аттерберга, %:                         |                                   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| L.L.                                           | 22,76                             | 21,02 | 23,05 | 21,08 | 23,76 | 25,72 | 28,03 | 21,79 | 23,19 | 20,03 |
| P.L.                                           | –                                 | 16,55 | –     | 16,37 | –     | 19,76 | –     | 16,26 | –     | 12,52 |
| P.I.                                           | –                                 | 4,47  | –     | 4,71  | –     | 5,96  | –     | 5,53  | –     | 7,51  |
| Объемная плотность, г/см <sup>3</sup>          | 1,740                             | 1,82  | 1,83  | 1,870 | 1,810 | 1,840 | 1,810 | 1,960 | 1,800 | 1,680 |
| Влажность, %                                   | 10,10                             | 6,99  | 8,85  | 10,28 | 15,74 | 8,04  | 10,69 | 11,35 | 14,82 | 4,12  |
| Плотность в сухом состоянии, г/см <sup>3</sup> | 1,57                              | 1,69  | 1,66  | 1,67  | 1,53  | 1,69  | 1,61  | 1,74  | 1,54  | 1,61  |
| Удельная плотность                             | 2,64                              | 2,65  | 2,643 | 2,65  | 2,652 | 2,651 | 2,645 | 2,648 | 2,65  | 2,651 |
| Параметры сдвига:                              |                                   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| C, кг/см <sup>2</sup>                          | 0,06                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| φ, °                                           | 35                                | 34    | 32    | 36    | 33    | 34    | 35    | 33    | 36    | 30    |

ния и новые здания, препятствующие стоку воды, обеспечить устойчивость домов, обеспечить дома удобствами и, самое главное, реставрировать разрушенные исторические здания. Такой комбинированный подход сейчас осуществляется в Джайсалмере для улучшения инфраструктуры и реставрации исторических зданий. Можно сказать, что разрушающаяся крепость будет спасена в ближайшем будущем только с учетом применения закономерностей механики грунтов.

Таблица 3. Несущая способность грунта, согласно IS 6403–1981. Отдельностоящий фундамент. Скважина № 1

| Глубина, м | Ширина, м | Допустимая несущая способность, т/м <sup>2</sup> |                                            |                    |                                |
|------------|-----------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------|--------------------------------|
|            |           | По критерию общего сдвигового разрушения         | По критерию местного сдвигового разрушения | По критерию осадок | Допустимая несущая способность |
| 2          | 1         | 88,56                                            | 42,27                                      | 21,06              | 21,06                          |
| 4          | 1         | 218,15                                           | 86,39                                      | 30,86              | 30,86                          |
| 6          | 1         | 271,31                                           | 102,43                                     | 44,72              | 44,72                          |
| 8          | 1         | 744,94                                           | 240,78                                     | 152,25             | 152,25                         |
| 10         | 1         | 673,63                                           | 237,15                                     | 159,05             | 159,05                         |

#### 4. ГАЛТАДЖИ

Галтаджи – одно из важнейших мест паломничества индуистов, известное также как «долина обезьян», расположено к востоку от Джайпура, у подножия холмов, покрытых буйной растительностью. Основной храмовый комплекс в Галтаджи был построен в VIII или IX в. Он включает храмы вайшнавов, принадлежавшие сектам Раманудж и Баллабх. В храме Хануманджи, расположенном внутри храма Ситарамжи, находится вечно горящая лампада.

Основная достопримечательность Галтаджи – вода, протекающая через Гомук («рот коровы») и заполняющая Сурия Кунд. Избыток воды попадает в Джанана Кунд. В этих кундах (резервуарах) индуисты совершают «священное омовение». В Гомук вода попадает следующим образом. Раджа Кунд (царский резервуар) располагался глубоко внутри холма Галта, и в нем скапливалась дождевая вода. Размеры резервуара – 32 x 22 м. Под действием силы тяжести вода стекала в ваври того же объема, который находился примерно в 150 м от царского резервуара. Затем сквозь горную породу вода просачивалась в восьмиугольный Удхар, или Кадам Кунд, расположенный примерно в 150 м от ваври. Из Кадам Кунда вода течет в Ягья Веди Кунд, расположенный в 150 м от предыдущего, там, где совершают-

ся индуистские ритуалы. Этот кунд питает *Гомук*. Вода из *Гомука* попадает в *Сурья Кунд*, а из него – в *Джанана Кунд*. Перелив из *Джанана Кунд* попадает на мостовую перед древними храмами и оmyвает ноги верующих.

Длина *Сурья Кунд* составляет 23 м, глубина – 16,15 м. В плане он имеет форму трапеции с искривленными сторонами. *Гомук* находится на высоте примерно 8,5 м над уровнем воды в *Сурья Кунд*. *Джанана Кунд* имеет форму прямоугольника в плане, а его объем равен объему *Сурья Кунд*. Кунды были устроены таким образом, чтобы вода, протекающая через *Гомук*, лилась круглый год без перерывов. Примерно в 250 м от *Раджа Кунд* Государственным департаментом по ирригации была построена каменная плотина для направления всей дренажной воды в *Раджа Кунд*. С течением времени между дамбой и кундом образовалась песчаная дюна. *Раджа Кунд* и *Ваври* были полностью разрушены наводнением 1981 г., они были заполнены песком и камнями, и ток воды через *Гомук* прекратился. Когда автор посетил местность в первый раз, то не обнаружил и следов ни кунда, ни ваври.

#### *4.1. Реставрация Раджа Кунд и восстановление течения воды через Гомук*

Предстояло решить следующие проблемы: обеспечить устойчивость склона песчаной дюны, проверить течение песка, восстановить *Раджа Кунд* и *Ваври*, чтобы возродить источник воды, питающей *Гомук*. *Раджа Кунд* был откопан при помощи экскаваторов, ручного

труда и вспомогательных средств. Некоторая сложность работ была связана с недоступностью *Раджа Кунд*. Восстановительные работы проводились с использованием старых камней, обнаруженных во время откопки, и новых, привезенных с окрестных холмов. Камни скреплялись цементно-песчаным раствором. Восстановленное сооружение очень живописно. Оно напоминает о мудрости предыдущих поколений, когда-то построивших его. Между *Раджа Кунд* и песчаной дюной были построены 3 защитные каменные дамбы на расстоянии 50 м друг от друга с центральным водосливом высотой 1,5 м от дневной поверхности. Между плотинами были построены промежуточные защитные дамбы с шагом 10 м. Для стабилизации склона дюны применялся джутовый геотекстиль, который укрепляли при помощи сетки анкеров. Геотекстиль раскладывали на склоне и закрепляли с помощью стальных стержней с верхнего уровня вниз, а также в горизонтальном направлении. Геотекстиль обеспечивает уплотнение грунта за счет приложения к откосу нормальных усилий, что повышает его кратковременную устойчивость. До и после применения геотекстиля поверхность грунта была засеяна семенами растений, чтобы с помощью растительности повысить долговременную устойчивость склона. Есть основания полагать, что к тому моменту, когда качества джутового геотекстиля ухудшатся, склон будет стабилизирован. Теперь во время муссонных ливней *Раджа Кунд* наполняется водой, которая, пройдя сквозь каменную породу, питает *Гомук*, вызывая восторг верующих. Усилия по реконструкции памятника увенчались успехом.