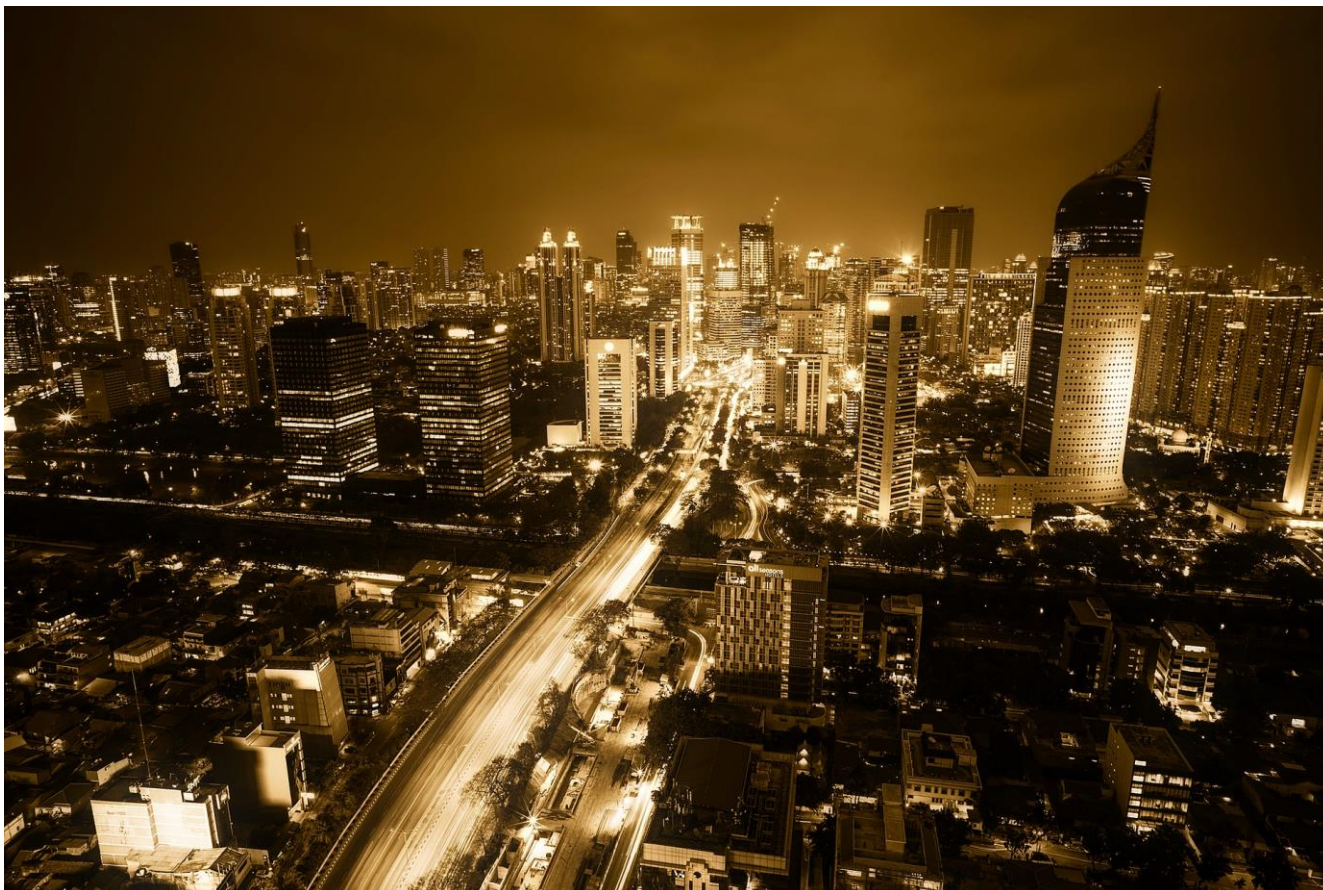


## ДЕТАЛЬНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ УВЕЛИЧИВАЮТ ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ. ИЗ ОПЫТА ИНДОНЕЗИИ



**Состав и объемы инженерных изысканий слишком часто выбираются в зависимости от выделенных на них средств, а не с целью описания условий строительной площадки на оптимальном уровне. Но недостаточные или некачественные изыскания в ряде случаев приводят к серьезным проблемам и избыточным расходам при строительстве и последующей эксплуатации объектов. К сожалению, заказчики этого обычно не понимают. Поэтому мы продолжаем обсуждать вопрос влияния масштабов изысканий на итоговые затраты по проектам, обращаясь на этот раз к опыту авторов из Индонезии.**

### **Аналитическая служба**

В последние 30–40 лет инженерные изыскания проводятся во всем мире в ограниченных масштабах [1, 2]. Это связано с тем, что заказчики стремятся минимизировать затраты на эти исследования, выделяя на них всего 0,1–3% от общего бюджета строительства, считая, что это уменьшит их общие затраты. Однако они часто не понимают, что это ведет к сужению состава и ограничению объема исследований и делает невозможным описание условий площадки на должном уровне. Соответственно, проекты, разработанные на основе таких данных, не позволяют возводить здания и сооружения экономически эффективно и безопасно. Некачественные или недостаточные изыскания могут приводить либо к

проблемам и перерасходам при строительстве и эксплуатации объектов, либо к экономически неэффективным проектам с избыточным запасом прочности. Поэтому мы вновь продолжаем обсуждать вопрос влияния масштабов изысканий на итоговые затраты по проектам, обращаясь к зарубежному опыту.

В этом отношении очень интересен опыт стран Юго-Восточной Азии, где капиталовложения в строительство являются сегодня одним из самых рентабельных направлений бизнеса. И если во многих других местах инвестиционный бизнес переживает не лучшие времена, то Юго-Восточная Азия демонстрирует его стабильный рост [3].



**Рис. 1.** Карта Индонезии [5]

Некоторые страны этого региона (например, Малайзия, Сингапур, Гонконг, Тайвань, Китай) создали специальные своды правил для определения состава и объема изысканий для строительства [4]. Однако, например, в Индонезии, по-прежнему нет четких нормативных указаний в этом отношении – масштабы изысканий там до сих пор определяются на основе общей практики и личного опыта инженеров [2].

Индонезия располагается на почти 18 тыс. островов между Тихим и Индийским океанами. Самые крупные из них – Новая Гвинея, Калимантан, Суматра, Сулавеси и Ява (рис. 1). Практически посередине страны проходит экватор. Столица государства Джакарта находится на острове Ява (рис. 2).



**Рис. 2.** Столица Индонезии Джакарта [9]

Отрасли экономики Индонезии базируются на рыночной структуре с большой контролирующей ролью государства и при значительной доле иностранных инвестиций. После мирового экономического кризиса 1997 года страна долго не могла прийти в себя, но в 2010-е годы наконец началось ускорение ее экономического развития. Сегодня Индонезия относится к категории развивающихся стран с хорошей перспективой дальнейшего роста. Некоторые эксперты считают, что к середине XXI века она может войти в число лидеров мировой экономики. В том числе быстро идет вперед и ее строительная отрасль, имея среднегодовой прирост \$2,1 млрд, или 13,7% [6–8]. Для развития темы нашей заметки интересно рассмотреть исследование А. Арсяда и др. из индонезийского Университета имени Хасануддина, результаты которого они представили в своем докладе «Количественное определение влияния ограниченных изысканий на стоимость строительства здания на свайном фундаменте» на Международной геотехнической конференции «Свай-2013», проходившей в Индонезии в 2013 году [2]. Отметим, что указанный университет является одним из лучших государственных высших учебных заведений Индонезии. В нем обучается около 24 тыс. студентов и работает 2 тыс. преподавателей. Центральный корпус этого вуза располагается в городе Макаassar на острове Сулавеси.

А. Арсяд с соавторами изучили влияние ограниченных изысканий на итоговую стоимость создания свайного фундамента на конкретном примере. Рассмотренная ими площадка строительства располагалась примерно в 19 км к юго-востоку от города Макаassar – столицы провинции Южный Сулавеси. Объектом исследования было здание геологического отделения с площадью пятна застройки 200 м x 116 м, которое возводилось на территории нового кампуса инженерного факультета Университета имени Хасануддина в 2011–2013 годах на грунтовом основании, сложенном осадочными отложениями реки Дженеберанг. Его планировалось построить на сваях-стойках, опирающихся на несущий слой, глубину залегания которого было необходимо определить при изысканиях. Этот

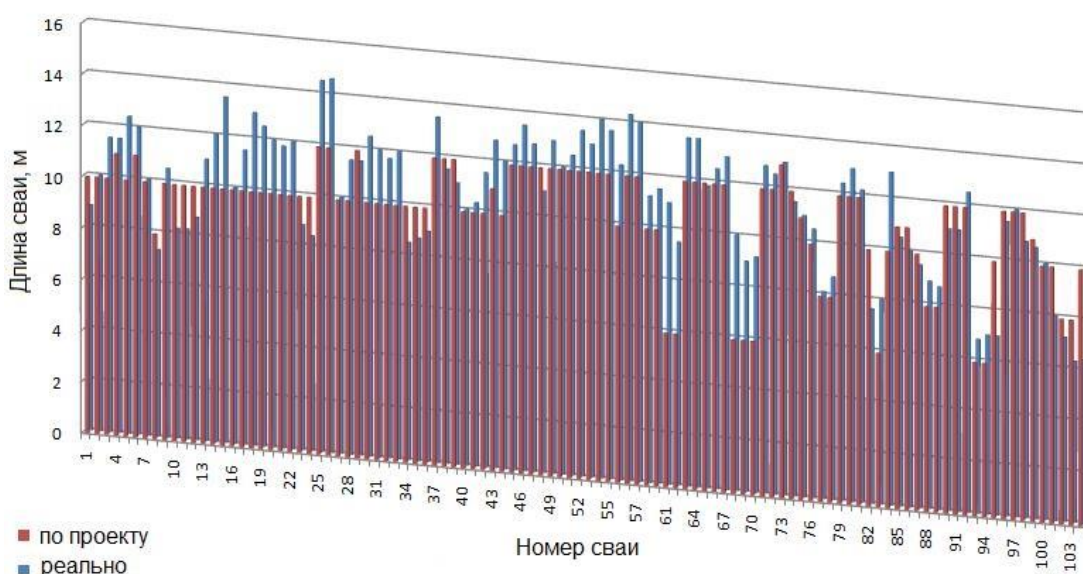
пласт состоял из песка и мелкого гравия с некоторым количеством брекчии. Он располагался под слоем пылеватой глины с низкой пластичностью, перекрытым слоем глины.

Поначалу были выполнены ограниченные инженерные изыскания, включившие 4 испытания статическим зондированием (СРТ) и 2 испытания динамическим зондированием (SPT). Почему-то было решено, что этого будет достаточно для полноценного описания грунтового основания – прежде всего глубины залегания несущего для свай слоя. Однако топография поверхности последнего в итоге оказалась гораздо более изменчивой, чем предполагалось.

Выполненные испытания СРТ показали глубину залегания кровли несущего слоя от 5,8 до 12,2 м. По данным SPT она составила 9,25 и 10,25 м. Такая изменчивость затрудняла определение проектной длины свай, поэтому подрядчик заказал составные бетонные сваи (типа PC Spun) различной длины – нижние части длиной 10, 11 и 12 м и верхние части длиной 6 м.

Однако на деле вышло еще хуже. Как оказалось, глубина залегания несущего пласта была настолько изменчивой, что данных СРТ и SPT, полученных в сумме всего для 6 точек, да и то не в местах забивки свай, явно не хватило для качественного проектирования. Сваи, которые должны были достичь несущего слоя, во многих случаях отличались по длине от запроектированных (рис. 3). Там, где их длины не хватало (35% свай), подрядчику пришлось заказывать дополнительные сваи. А там, где они были длиннее, чем нужно (17% свай), их пришлось обрезать. И только 48% от общего количества запроектированных свай подошли по длине к реальным условиям.

Авторы рассматриваемого доклада [2] по самому минимуму подсчитали (учтя только стоимость удлинения свай), что затраты на строительство свайного фундамента превысили сметные расходы на 21,3%, то есть вместо 1 479 млн индонезийских рупий (\$147 900) они составили 1 794 млн рупий (\$179 400).



**Рис. 3.** Сопоставление запланированной и реальной длины свай [2]

Далее А. Арсяд с соавторами исследовали возможные способы улучшения оценки глубины залегания несущего для свай слоя. Сначала они использовали два геостатистических метода интерполяции для нахождения промежуточных величин по уже имевшимся данным первоначальных изысканий (для четырех точек СРТ и двух точек SPT), – кригинг и метод обратных взвешенных расстояний.

### **Методы улучшения оценки**

*Кригинг* является одним из ключевых методов геостатистики для анализа пространственно распределенных данных и используется в том числе для интерполяции поверхностей. Он был назван в честь южноафриканского горного инженера Дэниела Крига, занимавшегося ручным созданием геологических карт по ограниченному набору данных. В основу метода положен принцип несмещенности среднего, который формально обеспечивается за счет повышения низких значений и уменьшения высоких. Для этого производится минимизация дисперсии ошибок измерения путем приравнивания к нулю первой производной ошибки относительно каждого неизвестного веса. В итоге выводится система уравнений, решением которой является вектор весов. Одним из преимуществ кригинга является то, что он дает не только интерполированные значения, но и оценку возможной ошибки этих величин. Данный метод может дать довольно точные оценки пропущенных значений, но эта точность обходится ценой времени и вычислительных ресурсов. Однако при больших ошибках измерений, значительных вариациях отсчетов и недостатке исходных данных бывает трудно построить кривую полудисперсии – и тогда результаты кригинга будут не лучше, чем полученные другими методами [10].

*Метод обратных взвешенных расстояний* основан на предположении, что чем ближе друг к другу находятся точки, тем более схожи значения рассматриваемого параметра для них. Чтобы проинтерполировать величину параметра для «неизмеренной» точки, данный метод использует результаты измерений в точках вокруг нее. Предполагается, что каждая «измеренная» точка оказывает на «неизмеренную» локальное влияние, которое уменьшается с увеличением расстояния. Вес результатов измерений в точках уменьшается как функция расстояния. Отсюда и название метода. Интерполяция с его помощью возможна с достаточной точностью только при условии, что выборка точек с известными значениями относительно равномерно распределена и характеристики поверхности не слишком изменчивы [11].

### **Дополнительные работы**

Помимо использования указанных геостатистических методов авторы рассматриваемого доклада [2] провели дополнительные полевые исследования – еще три испытания методом СРТ. Они добавили их результаты к данным, полученным при первоначальных изысканиях для более точной оценки глубины залегания кровли несущего слоя. Затем были построены карты поверхности несущего слоя в изолиниях глубины ее залегания по данным:

- 1) реальной забивки свай;
- 2) кригинга;
- 3) метода обратных взвешенных расстояний;
- 4) первоначальных и дополнительных изысканий (всего для семи точек СРТ и двух точек SPT).

### Сопоставление результатов

Вторая, третья и четвертая карты были сопоставлены с первой, которая наиболее достоверно отражала реальную картину. Во всех трех случаях имелись различия. Наибольшие отличия были для метода кригинга, наименьшие – для дополненных изысканий. Например, максимальная глубина залегания кровли несущего слоя по результатам кригинга и метода обратных взвешенных расстояний была 12,5 м (в двух местах и в одном месте соответственно). По данным дополненных изысканий она составила 13 м, а по итогам забивки свай – 15 м.

Затем А. Арсяд с соавторами разработали проекты фундаментов по результатам использования кригинга, метода обратных взвешенных расстояний и дополненных изысканий и сравнили длину запроектированных свай с длиной реально забитых свай. Наибольшие отличия были для кригинга, наименьшие – для дополненных изысканий. Аналогичным образом распределились и подсчитанные итоговые цены строительства свайных фундаментов (см. таблицу). Из представленной таблицы видно, что если первоначальные ограниченные изыскания привели к перерасходу 21,3% от сметной стоимости строительства, то кригинг дал превышение затрат 7,7%, метод обратных взвешенных расстояний – 6,6%, а дополненные полевые изыскания – 5,2%.

**Таблица.** Сметная и итоговая стоимость строительства свайных фундаментов, спроектированных по результатам использования геостатистических методов и дополненных изысканий (по [2])

Метод получения данных для проектирования	Сметная стоимость, млн рублей (\$)	Реальная стоимость, млн рублей (\$)	Разница, или перерасход	
			млн рублей (\$)	%
Первоначальные изыскания	1 479,00 (147 900)	1 794 (179 400)	315,00 (31 500)	21,3
Кригинг	1 665,90 (166 590)		128,10 (12810)	7,7
Обратных взвешенных расстояний	1682,55 (168 255)		111,45 (11 145)	6,6
Дополненные полевые изыскания	1 705,00 (170 500)		89,00 (8 900)	5,2

Отсюда можно сделать вывод, что более детальные полевые исследования дают наиболее достоверные данные для проектирования, что приводит к минимальным перерасходам. Вполне возможно, что, продолжая увеличивать объем изысканий (конечно, до определенного предела), можно было бы достичь оптимального количества исходных данных для наиболее экономически эффективного проектирования. Это особенно важно при высокой изменчивости грунтового основания [12].

Если по какой-то причине невозможно увеличить масштабы полевых исследований, то использование при проектировании результатов применения геостатистических методов интерполяции (особенно метода обратных взвешенных расстояний) также может

значительно уменьшить перерасходы при строительстве свайного фундамента в условиях, подобных рассмотренным.

### **Список литературы и источников**

1. Inadequate site investigation. London: Institution of Civil Engineers, Thomas Telford, 1991.
2. Arsyad A., Djamaluddin A., Thaha A., Harianto T., Samang L. Quantifying the effect of limited site investigation on the cost of building construction with pile foundation // Proceedings of the Pile-2013 international geotechnical conference, Bandung, Indonesia, June 2013. Vol. 2.
3. <http://www.balivillasale.ru/node/55>.
4. Moh Z.C. Site investigation and geotechnical failures // Proceedings of the International conference on structural and foundation failures, Singapore, 2004.
5. [http://equipcare.ru/images/stories/countries/Indoneziya/Karta\\_80.jpg](http://equipcare.ru/images/stories/countries/Indoneziya/Karta_80.jpg).
6. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Экономика\\_Индонезии](https://ru.wikipedia.org/wiki/Экономика_Индонезии).
7. <https://businessman.ru/ekonomika-indonezii-otrasli-i-interesnyie-faktyi.html>.
8. <http://be5.biz/makroekonomika/construction/id.html#analiz>.
9. <https://smartcitynews.global/jakarta-utilizes-technology-to-tackle-urban-challenges-with-citizens/>.
10. <http://fb.ru/article/128192/metod-interpolyatsii-osnovnyie-vidyi-i-vyichislitelnyie-algoritmyi>.
11. <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.4/extensions/geostatistical-analyst/how-inverse-distance-weighted-interpolation-works.htm>.
12. Goldsworthy J.S., Jaksa M.B., Fenton G.A., Griffiths D.V., Kaggwa W.S., Poulos H.G. Measuring the risk of geotechnical site investigations // Proceedings of the Geo-Denver-2007 symposium. ASCE, 2007.