

УДК 624.154.5

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-182-194

ПЛОЩАДНЫЕ НАГНЕТАНИЯ ПРИ ВЫРАВНИВАНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

А. В. Александров

АО «Институт Гидропроект», г. Москва, Россия

Аннотация. Рассматриваются вопросы управления пространственным положением железобетонных гидротехнических сооружений, расположенных на нескальном основании при их перемещении в результате непроектных осадок. Изменение высотного положения ГТС выполняется с помощью управляемого компенсационного нагнетания. Процесс изменения пространственного положения является итерационным, так как результаты перемещений каждого этапа являются основанием для назначения инъекций следующего этапа перемещений. Для ГТС необходимо реализовывать площадные нагнетания, которые соответствуют расчётному порядку нагнетаний. Рассматриваются три типа площадных нагнетаний. Для различных условий рекомендуются различные типы нагнетаний.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, управляемое компенсационное нагнетание, площадные нагнетания, нескальное основание, здание ГАЭС

AREA INJECTIONS DURING LEVELING OF HYDRAULIC STRUCTURES

A. V. Aleksandrov

JSC «Institute Hydroproject», Moscow, Russia

Annotation. The article discusses the issues of managing the spatial position of reinforced concrete hydraulic structures located on non-rocky foundations during their movement as a result of non-design settlements. The change in the height position of hydraulic structures is performed using controlled compensatory injection. The process of changing the spatial position is iterative, as the results of each stage's movements serve as the basis for assigning injections for the next stage of movements. For hydraulic structures, it is necessary to implement area injections that correspond to the calculated injection order. Three types of area injections are considered. Different types of injections are recommended for different conditions.

Keywords: hydraulic structures, controlled compensatory injection, area injections, soft soil foundation, PSPP building

Введение

На стадиях строительства и эксплуатации железобетонных гидротехнических сооружений (ГТС) зафиксированы отклонения ГТС от проектного поведения, включая их неравномерные осадки. Физико-механические характеристики грунтов основания после выполнения изысканий, в процессе проектирования, строительства и эксплуатации сооружения, как правило, предполагаются неизменными. Вместе с тем, при недостаточном учёте условий работы основания как в строительный, так и в эксплуатационный период, возможно проявление процессов, ухудшающих его свойства.

В равнинных условиях Российской Федерации основанием значительного количества ГТС служат не скальные грунты (к примеру, часть Волжско-Камского каскада ГАЭС, Загорские ГАЭС и ГАЭС-2 и другие). Особенность этих гидроузлов заключается в размещении распластанных в плане бетонных сооружений на не скальном основании, в том числе, сложенном песчаными и глинистыми грунтами, требующим ряда специальных условий для обеспечения их эксплуатационной долговечности при сложных гидрогеологических процессах.

Нередки случаи возникновения неравномерных и превышающие расчётные значения осадок железобетонных ГТС вследствие неодинакового давления частей сооружения на основание, а также различной сжимаемости грунтов, расположенных под фундаментом сооружения. В случаях проявления неравномерных осадок ГТС, например, здания станционного узла, происходит нарушение положения вертикальных осей гидросилового оборудования, расположенного внутри станционного узла, а вследствие этого потеря работоспособности.

При определенных условиях возможно выполнить мероприятия по восстановлению планово-высотного положения ГТС, получивших непроектные осадки, с помощью управляемого компенсационного нагнетания (УКН), выполнение которого имеет особенности, связанные с работой системы «железобетонное сооружение – основание».

В качестве примера можно привести восстановление здания станции Загорской ГАЭС-2 [1–3]. В состав напорного фронта основных сооружений Загорской ГАЭС-2 входят станционный узел, включающий в себя здание станции с реверсивным каналом, монтажную площадку, временную монтажную площадку, сопрягающие подпорные стенки верхнего и нижнего бьефа, служебно-производственный корпус и другие сооружения.

Около 23 часов 17 сентября 2013 г. в течение короткого промежутка времени произошло затопление верховой части котлована Загорской ГАЭС-2 (через входные отверстия напорных водоводов агрегатов №№ 9 и 10 и кабельные каналы здания ГАЭС-2) до отметки 162,0 м, соответствующей уровню воды в нижнем бассейне ГАЭС в тот период времени. Из внешних признаков произошедшего события, помимо затопления верховой части котлована ГАЭС-2, утром 18 сентября обнаружена вертикальная деформация положения здания ГАЭС, составлявшая на момент первоначальных исследований около 96 см и увеличившаяся впоследствии до 157 см. Здание станции неразрезной конструкции длиной 106,89 м, максимальной высотой 54,13 м, шириной (вдоль потока) 74,33 м; слева от здания станции расположено не пострадавшее помещение монтажной площадки. На рисунке 1 показана осадка здания ГАЭС и подпорной стенки ПС-3 относительно подпорной стенки ПС-4.

Выравнивание и восстановление здания станции Загорской ГАЭС-2 выполнялось с помощью УКН; выравнивание ПС-3 проектом не предусматривалось.



Рис. 1. Осадка здания Загорской ГАЭС-2 и подпорной стенки ПС-3 относительно подпорной стенки ПС-4

Основная часть

Технология управляемого компенсационного нагнетания связана с подачей инъекционного материала через манжеты [4, 5], которые размещаются под фундаментом сооружения. При внедрении в грунт специальных инъекционных составов изменяется напряженно-деформируемое состояние (НДС) основания. При этом НДС грунтового массива изменяется не непредсказуемо, а в соответствии с программой подъема сооружения и может быть отрегулировано за счет технологических приёмов с учетом результатов мониторинга. Численное моделирование НДС и численные эксперименты являются основой технологического процесса УКН [6–13]. Основанием результативности УКН является достижение расчётного режима выполнения инъекционных работ.

Методика УКН предполагает выполнение инъекционных работ с внедрением инъекционных составов в грунт как основного движителя сооружения в соответствии с определённой расчётом последовательностью [14] и имеет итерационный характер, соответствующий расчётному обоснованию, получению данных мониторинга и сопоставлению их с расчётом. При применении манжетной технологии возможно обеспечить подачу расчётных объёмов в необходимые точки основания в необходимой последовательности. Последовательность инъекционных работ при методе УКН и манжетной технологии нагнетания показана на рис. 2.

Для сооружений, имеющих небольшие размеры в плане – ленточные и столбчатые фундаменты гражданских и промышленных сооружений, свайные фундаменты, небольшие в плане (до 20×20 м) плитные

фундаменты, линейные подземные сооружения транспортного и сетевого назначения: туннели, подземные инженерные сети, водоводы и прочие аналогичные сооружения [15–23], порядок выполнения инъекций имеет подчинённое значение.

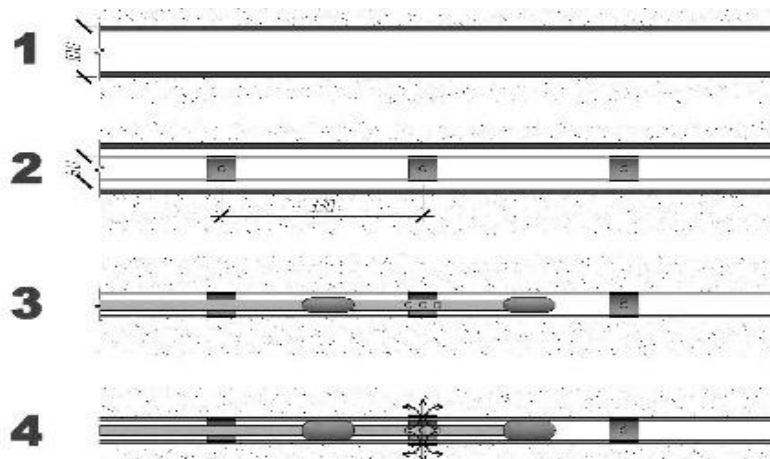


Рис. 2. Последовательность работ при манжетной технологии двусторонним пакером:

- 1 – бурение скважины; 2 – установка манжетного иньектора в буровую колонну;
- 3 – удаление буровой колонны и установка двустороннего пакера в зону нагнетания;
- 4 – фиксация двустороннего пакера и нагнетание через манжету

Для гидротехнических сооружений со значительными размерами в плане, достигающими десятков и сотен метров — зданий станций ГЭС и ГАЭС, бетонных плотин, сооружений гашения энергии и прочих распластанных в плане сооружений, линейный характер распределения последовательности нагнетаний неприменим [24]. В случае необходимости применения метода УКН для распластанных в плане бетонных гидротехнических сооружений требуется разработка специальных видов расчётов в многомерной постановке, а также специальных приёмов производства инъекционных работ площадного нагнетания, позволяющих реализовать расчётные характеристики инъецирования. Для такого рода сооружений расчётный порядок выполнения нагнетаний имеет не меньшую важность, чем распределение расчётных объёмов [25, 26]. Это обстоятельство является особенностью метода УКН для гидротехнических сооружений с большими плановыми размерами.

Сетка манжет при выравнивании здания ГАЭС для выполнения УКН организовывалась путем установки 8 ярусов 46 манжетных колонн [27–29], находящихся ниже фундаментной плиты здания ГАЭС на расстоянии от 7,5 м до 11,5 м (рис. 3–5).

Выполнение площадных нагнетаний для широко распластанных в плане гидротехнических сооружений осложняется тем обстоятельством, что распределение расчётных объёмов инъекций может иметь весьма широкие пределы.

В связи с тем, что площадное нагнетание имеет ряд существенных особенностей организации работ относительно линейного, автор приводит варианты осуществлённых на практике схем организации площадных инъекций.

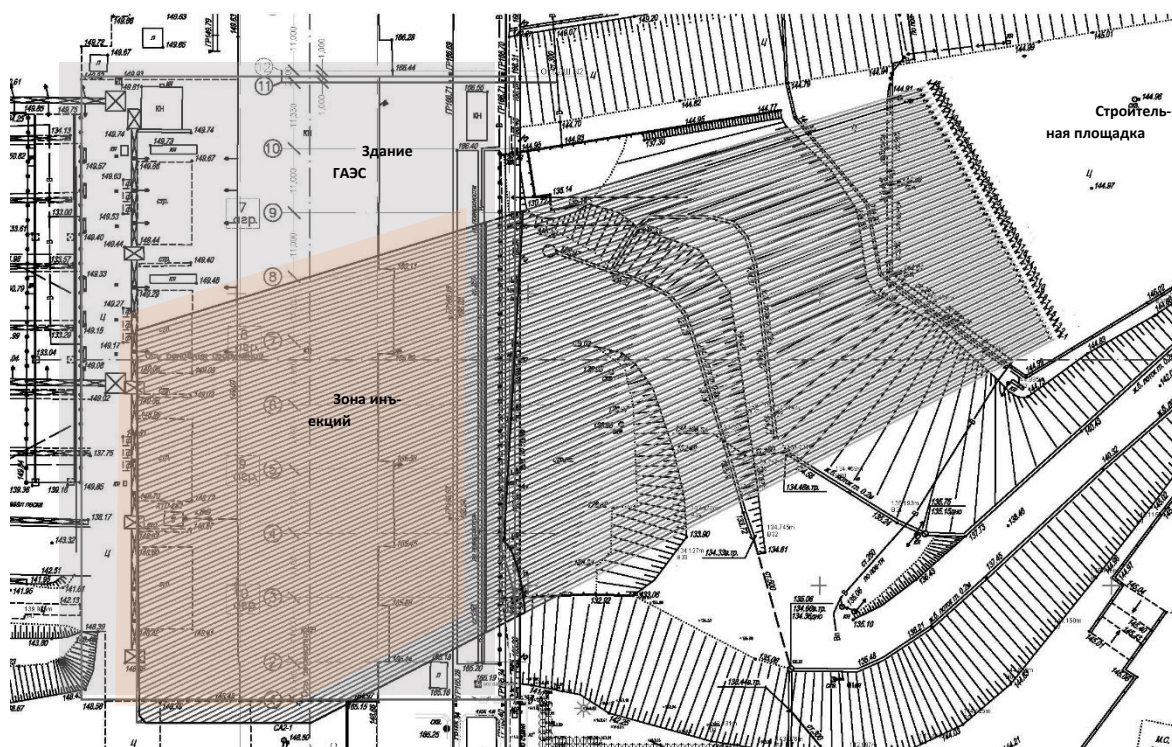


Рис. 3. Схема расположения манжетных колонн. План.

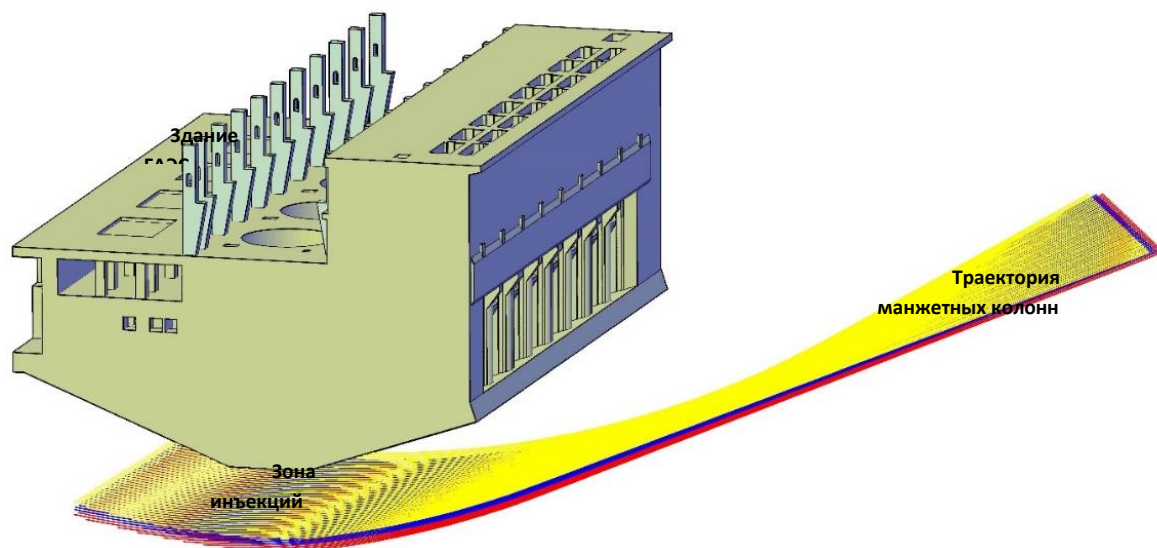


Рис. 4. Трёхмерная модель траектории манжетных колонн. Показан один ярус

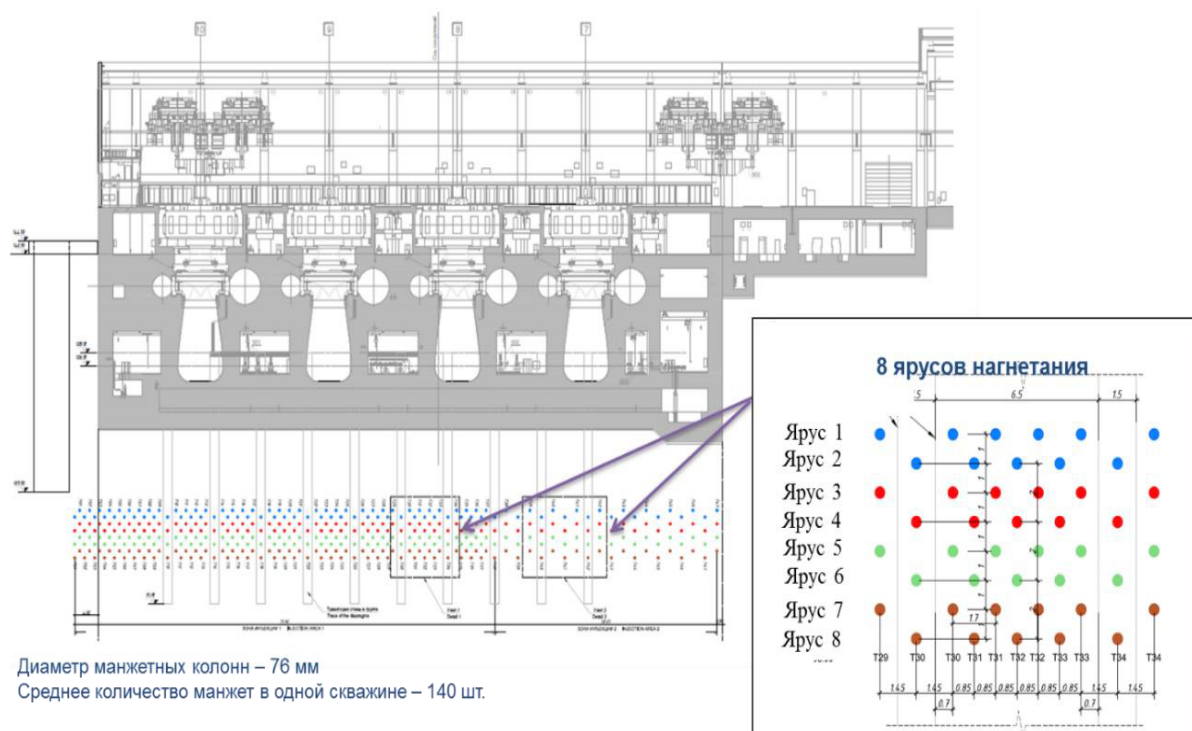


Рис. 5. Разрез по зданию ГАЭС и манжетным колоннам поперёк потока

Отмечаются следующие типы выполнения площадных нагнетаний:

Тип 1 — ступенчатое перемещение двустороннего пакера вдоль манжетной колонны с последовательной инъекцией всех манжет; инъекции независимы от соседних МК.

Тип 2 — шахматное (очаговое) перемещение пакеров, объединённых в группы в плане и выполняющих одновременную инъекцию при работе в группе.

Тип 3 — последовательное и одновременное перемещение односторонних пакеров вдоль всех манжетных колонн; выполняется регулирование объёмов и расходов инъекций.

Тип 1. Распределение нагнетаний при использовании двустороннего пакера позволяет перемещать пакер вдоль манжетной колонны в произвольном порядке. Это обстоятельство позволяет реализовать схему нагнетания по типу 1, приведенную на рис. 6.

На рис. 6 условно показаны 7 манжетных колонн: МК 1 ... МК 7, каждая из которых содержит 24 манжеты. Порядок перемещения пакера показан нумерацией пакерных стоянок 1 ... 24 по каждой манжетной колонне. В правой части рисунка стрелками показано перемещение пакера по мере выполнения первых пяти нагнетаний для МК 1, МК 3, МК 5 и МК 7 (манжеты 24 – 18 – 12 – 6 – 23), далее нагнетания выполняются последовательно по таблице. Аналогичный порядок нагнетаний для манжетных колонн МК 2, МК 4 и МК 6 со сдвигом на одну манжету вверх.

Манжета	МК 1	МК 2	МК 3	МК 4	МК 5	МК 6	МК 7
1	24	20	24	20	24	20	24
2	20	16	20	16	20	16	20
3	16	12	16	12	16	12	16
4	12	8	12	8	12	8	12
5	8	4	8	4	8	4	8
6	4	24	4	24	4	24	4
7	23	19	23	19	23	19	23
8	19	15	19	15	19	15	19
9	15	11	15	11	15	11	15
10	11	7	11	7	11	7	11
11	7	3	7	3	7	3	7
12	3	23	3	23	3	23	3
13	22	18	22	18	22	18	22
14	18	14	18	14	18	14	18
15	14	10	14	10	14	10	14
16	10	6	10	6	10	6	10
17	6	2	6	2	6	2	6
18	2	22	2	22	2	22	2
19	21	17	21	17	21	17	21
20	17	13	17	13	17	13	17
21	13	9	13	9	13	9	13
22	9	5	9	5	9	5	9
23	5	1	5	1	5	1	5
24	1	21	1	21	1	21	1

Рис. 6. Пример выполнения площадных нагнетаний по типу 1

Тип 2. Площадные нагнетания по типу 2 характеризуются очаговым распределением инъекций по полю нагнетаний. При этом типе инъекций по полю нагнетаний формируются отдельные участки определённой площади с примерно равным временем инъектирования при оптимальном использовании насосного оборудования.

При таком распределении формируются области в пределах поля нагнетаний, характеризующиеся расчётным временем и расчётной интенсивностью нагнетаний по объёму и времени выполнения работ. Пример такого распределения показан на рис. 7, где цветом обозначены области распределения объемов и дифференцированные объёмы по участкам в процентах от общего.

Перемещение пакеров предусматривается в направлении снизу вверх, от дальних манжет к ближним. В зависимости от объёмов нагнетания выполнение инъекций может быть реализовано как последовательно, манжета за манжетой, так и с шагом через несколько манжет.

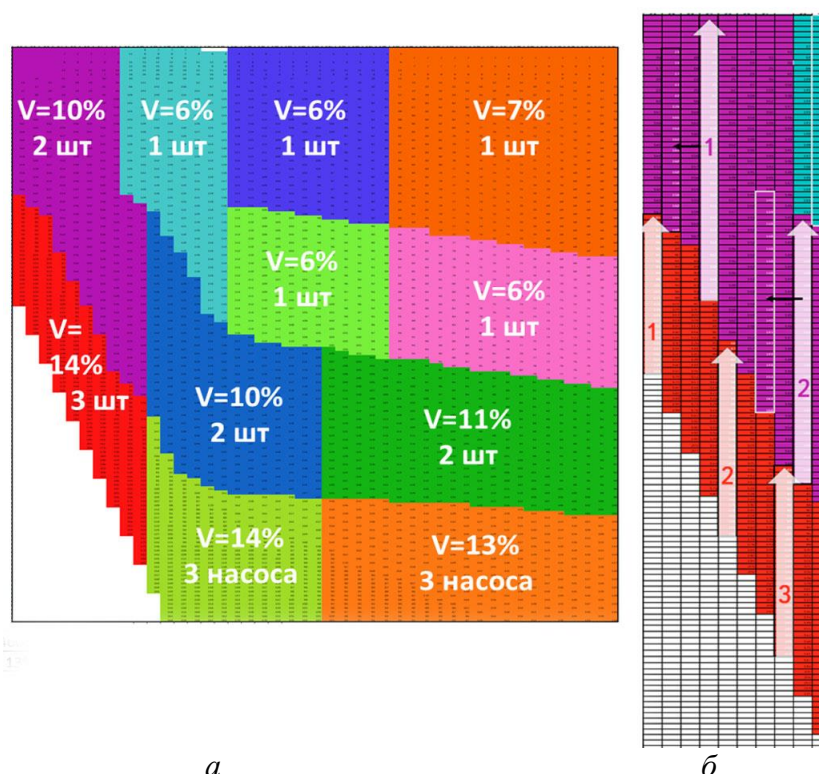


Рис. 7. Пример распределения объёмов по полю нагнетаний по типу 2:
а – общее поле нагнетаний с областями работ; б – порядок перемещения пакеров

Тип 3. Площадные нагнетания по типу 3 характеризуются последовательным распределением инъекций по полю нагнетаний от дальних манжет к ближним. При этом типе инъекций по полю нагнетаний формируются отдельные потоки нагнетаний с регулировкой времени инъекций за счёт изменения расхода нагнетаний. При таком подходе может быть сформировано несколько потоков нагнетаний, проходящих последовательно по полю нагнетаний и выполняющих свою часть работы по передаче нагрузки от инъекций на основание сооружения.

На рис. 8 показана двухпоточная схема инъекций по условному инъекционному полю с разделением нагнетаний на чётные и нечётные манжетные колонны.

По схеме выполнения инъекционных работ, изображённых на рис. 8, выполняется сначала нечётный поток нагнетаний с дальнейшим, задержанным на расчётное время, чётным потоком нагнетаний. Таким образом, инъекционное поле может быть пройдено дважды – или иное требуемое количество раз в зависимости от деления потоков инъекций. Дискретность объёмов нагнетаний по площади инъекционного поля компенсируется частотой проходов.

За счёт выполнения работ по площадным нагнетаниям типа 3 возможно обеспечить сокращение времени на инъекционные работы, сокращение потерь и отходов с сохранением эффективности нагнетаний.

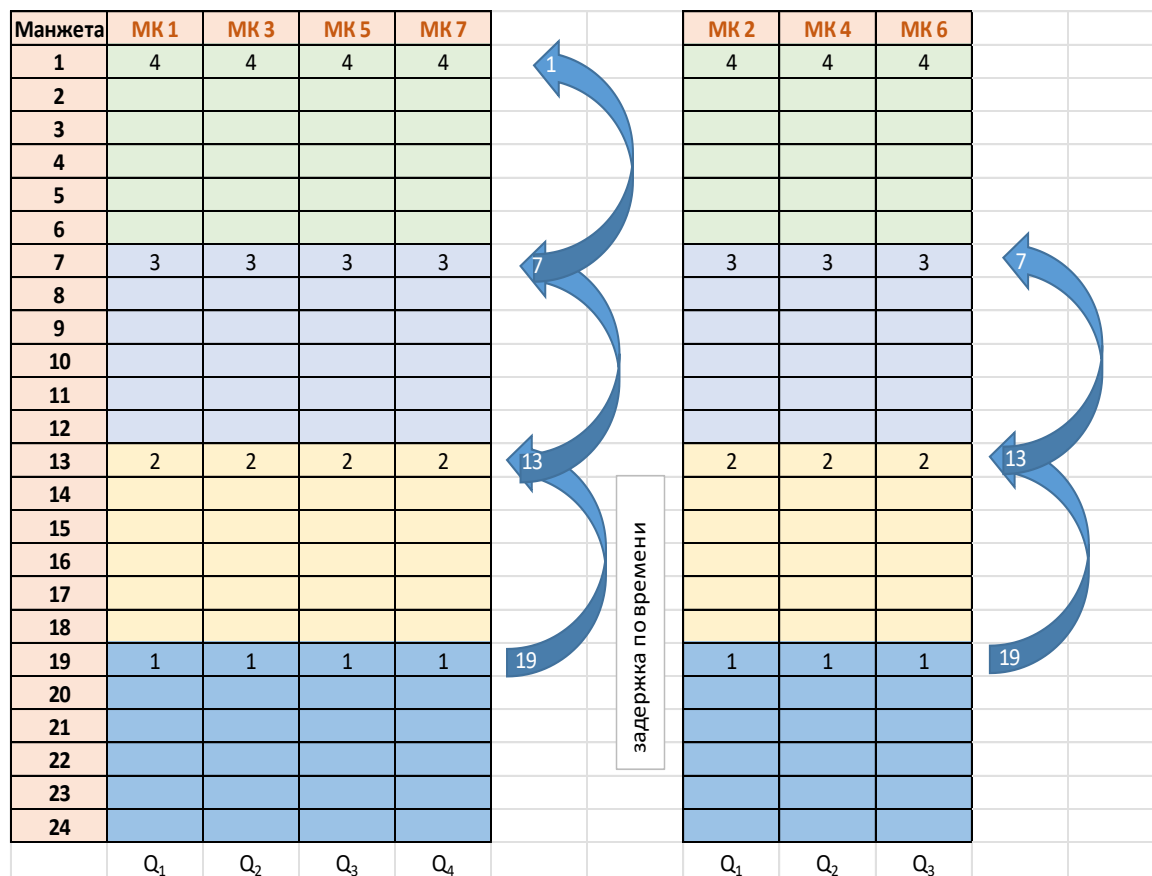


Рис. 8. Пример пошаговых нагнетаний в МК односторонним пакером с регулировкой расхода нагнетаний

Количество типов площадных нагнетаний не исчерпывается приведёнными в настоящем разделе типами; здесь приведены типы нагнетаний, использованные автором в практике УКН.

Для каждого типа площадных нагнетаний формируется комплекс инъекционного оборудования (насосы, пакеры, манжетные колонны), отрабатывается порядок нагнетаний и их распределение по времени, а также подбираются свойства инъекционных составов, соответствующие принятой технологии площадного нагнетания по типам.

Нагнетания по типу 1 оптимизируют распределение объёмов нагнетания и обеспечивают высокое соответствие расчётной последовательности нагнетаний для небольших в плане сооружений. При этом типе нагнетаний выполняется точное распределение объёмов инъекций с возможностью их синхронизации на строительной площадке с учётом неравномерности грунтовых условий.

Нагнетания по типу 2 оптимизируют распределение объёмов нагнетания для сооружений, имеющих высокую площадную неоднородность. При этом типе нагнетаний выполняется точное распределение объёмов инъекций в локальных зонах с возможностью их синхронизации на строительной площадке с учётом неравномерности грунтовых условий.

Нагнетания по типу 3 оптимизируют распределение объёмов нагнетания для сооружений имеющих, в отличие от типа 2, высокую площадную однородность. При этом типе нагнетаний выполняется точное распределение объёмов инъекций по площади инъекционного поля с возможностью их синхронизации на строительной площадке с учётом неравномерности грунтовых условий.

На рис. 9 приводится пример распределения объёмов нагнетаний в основание здания станции Загорской ГАЭС-2 при инъекциях 5 яруса.

Площадное нагнетание. 2 подэтап

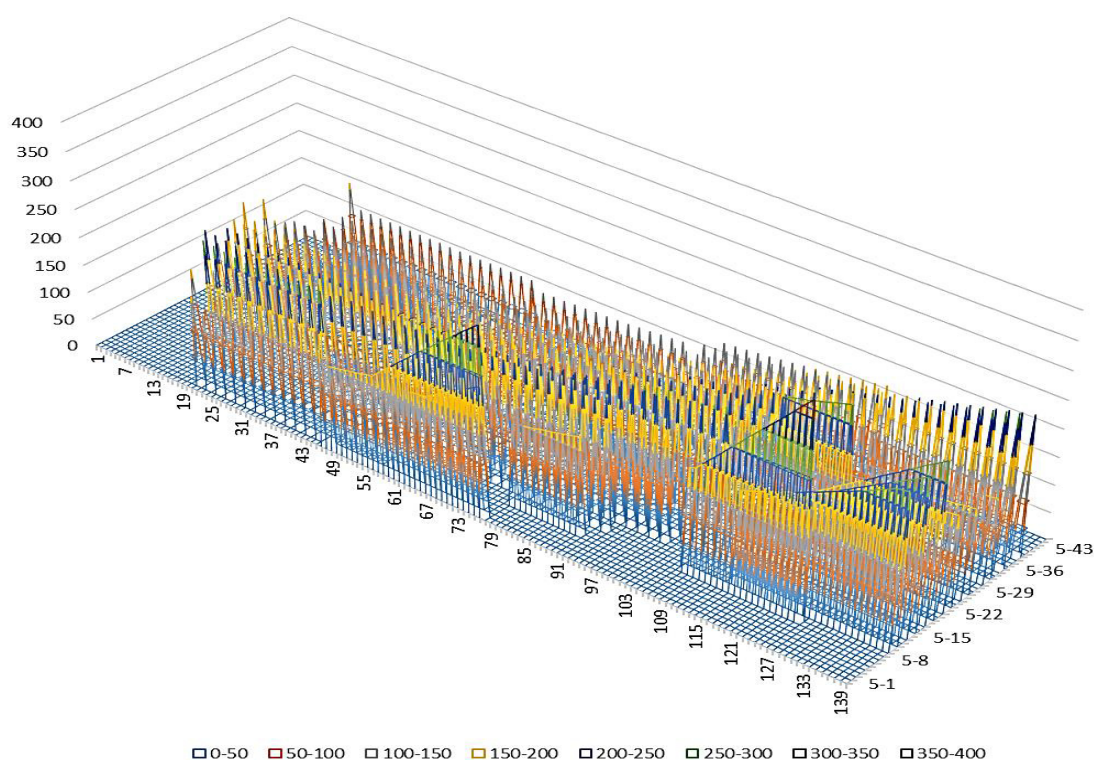


Рис. 9. Распределение объёмов нагнетаний при втором подэтапе работ 5 яруса

Заключение

В статье приведены результаты исследований площадных нагнетаний при использовании УКН как взаимоувязанной системы технологических приёмов при нагнетаниях для выравнивания гидротехнических сооружений.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Выполнение работ по методике УКН имеет итерационный характер и зависит от результатов всего ряда предшествующих инъекционных работ.
2. Результаты работ по управлению перемещениями ГТС имеют вероятностный характер, обоснованность которого возрастает с ходом работ в связи с получением необходимого массива данных для расчёта и прогноза параметров последующих нагнетаний.

3. Для широко распластанных в плане гидротехнических сооружений необходимо выполнение площадного нагнетания по специально разработанным сценариям. При выполнении площадных нагнетаний для гидротехнических сооружений важным является расчётный порядок нагнетаний, соответствующий расчётному порядку возникновения в грунте основания необходимых напряжений, достаточных для перемещения ГТС.

Список источников

1. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС–2 и восстановительные работы. Разработка проектной документации на восстановительные работы. Корректировка этапа 1. Этап 2. Научно-техническое сопровождение проектных работ. Основные положения проекта. Пояснительная записка: 1938-40-094.1 / Ин-т Гидропроект. – Москва, 2015. – 203 с.
2. Гидроаккумулирующие электростанции. Строительство и эксплуатация Загорской ГАЭС / Н. И. Серебрянников, В. Г. Родионов, А. П. Кулешов [и др.] – Москва: НЦ ЭНАС, 2000. – 355 с.
3. Синюгин, В. Ю. Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике / В. Ю. Синюгин, В. И. Магрук, В. Г. Родионов – Москва: НЦ ЭНАС, 2008. – 352 с.
4. Bezuijen A. Compensation grouting in sand : experiments, field experiences and mechanisms / A. Bezuijen. – Zutphen: Wörmann Print Service, 2010. – 197 p.
5. Bezuijen A. Laboratory tests, compaction or compensation grouting / A. Bezuijen, R. Kleinlugtenbelt, A. F. van Tol // Physical modelling in geotechnics: 6th ICPMG '06 : [in 2 vol.]. – London [et al.]: Taylor & Francis, 2006. – Vol. 1. – P. 1245–1251. – (Proceedings of the Sixth International Conference on Physical Modelling in Geotechnics – 6th ICPMG '06, Hong Kong, 4–6 August 2006).
6. Александров, А. В. Численное моделирование напряжённо-деформированного состояния здания станционного узла в случае неравномерной осадки и при выравнивании его положения / А. В. Александров // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – Т. 19, № 2. – С. 190-202.
7. Тер-Мартirosян, А. З. Изменение напряженно-деформированного состояния грунтового массива при компенсационном нагнетании вблизи котлована / А. З. Тер-Мартirosян, В. П. Кивлюк, И. О. Исаев – DOI: 10.22227/1997-0935.2025.5.734-744// Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 5. С. 734–744.
8. Чубатов, И. В. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния основания гидротехнического сооружения при компенсационном нагнетании: дис....канд.техн.наук / И. В. Чубатов. – Москва, 2022. 151 с.
9. Bestuzheva A.S. Numerical Simulation of Stress and Strain Behavior of Foundation Soil under Compensation Grouting / A.S. Bestuzheva, I.V. Chubатов // E3S Web Conf. 2021. Pp. 2640-3020.
10. Bestuzheva A.S. Numerical modeling for controlled compensation grouting / A.S. Bestuzheva, I.V. Chubатов - DOI:10.1088/1742-6596/2701/1/012021// Journal of Physics: Conference Series. 2701(2024)012021.
11. Demenkov P.A. Numerical experiments on the modeling of compensatory injection for the protection of buildings during tunneling / P.A. Demenkov, O.V. Trushko, I.V. Potseshkovskaya // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 13, NO. 23, December 2018. Pp. 9161 – 9169.

12. Luzin I. Calculation of the foundation settlement during compensation grouting / I. Luzin, L. Ermoshina // E3S Web of Conferences 97, 04050 (2019). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704050>.
13. Schweiger H.F. Numerical Modelling of Settlement Compensation by Means of Fracture Grouting / H.F. Schweiger, C. Kummerer, R. Otterbein, E. Falk // J. Soils and Foundations. 2004. Vol. 44, Is. 1. Pp. 71-86. <https://doi.org/10.3208/sandf.44.71>.
14. Александров А. В. Разработка и обоснование метода выравнивания гидротехнических сооружений, подвергшихся неравномерным осадкам: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07 / А. В. Александров [место защиты: Моск. гос. строит. ун-т]. – Москва, 2018. – 24 с.
15. Прочность, устойчивость, колебания: справочник: в 3 т. / Б. Л. Абрамян, Н. Х. Арутюнян, И. А. Биргер и др.; под общ. ред. И. А. Биргера и Я. Г. Поновко. – Москва: Машиностроение, 1968. – Т. 1. – 831 с.
16. Александров, А. В. Эксплуатационная безопасность Загорской ГАЭС–2 при выравнивании здания станции / А. В. Александров // Гидротехническое строительство. – 2021. – № 5. – С. 8-13.
17. Беллендир, Е. Н. Результаты геотехнического мониторинга работ на опытном участке № 3 Загорской ГАЭС–2 / Е.Н. Беллендир, А.В. Александров // Гидротехническое строительство. – 2021. – № 1. – С. 5-11.
18. ГОСТ 5802–86. Растворы строительные. Методы испытаний: межгосударственный стандарт: взамен ГОСТ 5802–78: дата введения 01.07.86 – М: Стандартинформ, 2018. – 18 с. – С Поправкой (ИУС № 5 2004 г.)/
19. ГОСТ 22690–2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля межгосударственный стандарт: взамен ГОСТ 22690–88 : дата введения 2016–04–01– М. : Стандартинформ, 2016. – III, 20 с.
20. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС–2 и восстановительные работы. Регламенты проведения специального мониторинга состояния сооружений и их основания в период выполнения работ по выравниванию здания станционного узла Загорской ГАЭС–2. Часть 2. Регламент специальных наблюдений за напряженно-деформированным состоянием здания ГАЭС в период выравнивания здания станционного узла Загорской ГАЭС–2 : 1938-40-544.2.ПЗ / Ин-т Гидропроект. – Москва, 2021. – 44 с
21. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС–2 и восстановительные работы. Регламенты проведения специального мониторинга состояния сооружений и их основания в период выполнения работ по выравниванию здания станционного узла Загорской ГАЭС–2. Часть 5. Регламент геофизических наблюдений за изменением свойств основания здания ГАЭС–2 в период выравнивания здания станционного узла Загорской ГАЭС–2 : 1938-40-544.5.ПЗ / Ин-т Гидропроект. – Москва, 2022. – 28 с.
22. Рубин, О. Д.. Исследование физико-механических свойств скального основания бетонных сооружений Богучанской ГЭС на основе математических моделей «строящееся бетонное сооружение – скальное основание» / О. Д. Рубин, С. Е. Лисичкин // Материалы междунар. науч.-практ. конф. Роль мелиорации и водного хозяйства в реализации национальных проектов»/ М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Моск. гос. ун-т природообустройства. – М.: МГУП, 2008. – Ч. 2. – С. 145-148.
23. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции: свод правил: актуализир. ред. СНиП 3.03.01–87: дата введения 2013–07–01 / Госстрой России, ФАУ «ФЦС». – Москва: ФАУ «ФЦС», 2013. – VI, 197 с. – С Поправкой.

24. Анализ напряжённо-деформированного состояния агрегатного блока и старторного кольца при непроектной осадке здания ГАЭС и последующем его выравнивании / А. В. Александров, М. Г. Зерцалов, И. В. Баклыков [и др.] // Мелиорация и гидротехника. – 2025. – Т. 15. – № 4. – С. 317-337.

25. Восстановление Загорской ГАЭС–2 на р. Кунье. Восстановительные работы. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС–2 и восстановительные работы. Разработка рабочей документации на восстановительные работы. Программа работ по сопровождению выравнивания здания станционного узла Загорской ГАЭС–2: 1938-40-559 / Ин-т Гидропроект. – Москва, 2020. – 72 с.

26. Восстановление Загорской ГАЭС–2 на р. Кунье. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС–2 и восстановительные работы. Разработка рабочей документации на восстановительные работы. Технические требования к горизонтально-направленному бурению скважин нагнетания: 1938-40-586 / Ин-т Гидропроект. – М., 2020. – 38 с.

27. Восстановление Загорской ГАЭС–2 на р. Кунье. Восстановительные работы. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС–2 и восстановительные работы. Проведение изыскательских работ по исследованию прочностных характеристик инъекционных материалов в грунте основания станционного узла, по результатам завершения инъекционных работ в 8 и 7 ярусах нагнетания: отчёт о проведении работ: 1938-40-640 / Ин-т Гидропроект. – М., 2025. – 42 с.

28. Восстановление Загорской ГАЭС–2 на р. Кунье. Восстановительные работы. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС–2 и восстановительные работы. Техническое сопровождение процесса восстановления высотного положения здания станционного узла Загорской ГАЭС–2. 7 и 8 ярусы нагнетания: отчёт по завершению 1 этапа нагнетания: 1938-40-621 / Ин-т Гидропроект. – М., 2021. – 137 с.

29. Восстановление Загорской ГАЭС–2 на р. Кунье. Восстановительные работы. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС–2 и восстановительные работы. Техническое сопровождение процесса восстановления высотного положения здания станционного узла Загорской ГАЭС–2. 6 и 5 ярусы нагнетания: отчёт по завершению 2 этапа нагнетания: 1938-40-683 / Ин-т Гидропроект. – М., 2024. – 139 с.

© Александров А. В., 2026