

УДК: 528.482.5:004.4

**Ойматов Рустам Камариддинович**

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, доцент, г.Ташкент

e-mail: rustam.oymatov@mail.ru

**Исломов Уткир Пирметович**

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, старший преподаватель, г.Ташкент

e-mail: iotkir@mail.uz

**Успанкулов Бекжан Мусабекович**

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, ассистент, г.Ташкент

e-mail: bejjon.90@mail.ru

**О ПРОГРАММИРОВАНИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОСАДКАМИ  
ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*Мақалада сипатталған ерекишеліктеріне қарамастан, оларды зерттеу барысында құрылымдық жай-күйді пайдалану үдерісінде болжау жасалып, геодезиялық бағдарламалау тәсілі бойынша инженерлік құрылымдардың шөгінділері мен көлденең қозғалуын бақыланып талданады.*

*Түйін сөздер:* жауын-шашынның, инженерлік құрылымдардың, құрылымдардың күйін болжау, бағдарламалау, геодезиялық бақылау.

*В статье проанализированы вопросы методов программирования геодезических наблюдений за осадками и горизонтальными смещениями инженерных сооружений, которые, несмотря на отмеченные особенности, находят применение при изучении и прогнозировании состояния сооружений в процессе их эксплуатации.*

*Ключевые слова:* наблюдения за осадками, инженерные сооружения, прогнозирование состояния сооружений, программирование, геодезические наблюдения.

*In the article questions of methods of programming of geodetic observations of precipitation and horizontal displacements of engineering structures are analyzed, which, despite the noted features, find application in studying and forecasting the state of structures in the process of their operation.*

*Keywords:* observation of precipitation, engineering structure, prediction of the state of structures, programming, geodetic observation.

В научных работах, опубликованных в геодезической и специальной литературе, показаны цикличности натуральных наблюдений за деформациями инженерных сооружений геодезическими методами, оно основывается на использовании одной из величин: осадки, скорости осадки, точности измерений осадки, временного интервала, временной характеристики случайной функции и т.д. Такие подходы к решению рассматриваемого вопроса свидетельствуют о неоднозначности расчётов и сроков, следовательно, и расходов средств на производство геодезических наблюдений, установления подходящего вида функции, описывающего процесс осадки тела различных инженерных сооружений.

В этом легко можно убедиться, сделав анализ описанных выше случаев для

обоснования цикличности геодезических наблюдений за осадками инженерных сооружений. Если при этом ориентироваться на величину осадки, то она различна в разных точках одного итого же сооружения, неопределённо конечная величина и не известно время ее достижения.

Производство геодезических наблюдений через равные интервалы времени, предусмотренны в эффективно только в начальные годы эксплуатации инженерного сооружения, т.к. в этот период его деформация существенно изменяется за характерные промежутки времени, когда обычно требуется детально проследить её эволюцию, так как это требование, как правило, выдвигает в начальные годы эксплуатации инженерных сооружений вести наблюдение с достаточно малым временным интервалом. В последующие

годы эксплуатации, за характерные времена величины, характеризующие деформацию сооружений меняются мало, детальное представление их хода не требуется [1, с.18]. Поэтому на практике исследования деформации сооружений геодезические наблюдения ведутся с большими временными интервалами, не соответствующими требованиям точности.

Использование при установлении цикличности наблюдений скорости осадок, протекающей по-разному для отдельных точек одного и того же сооружения, являющейся функцией двух неопределённых величин осадки в начале и конце временного интервала также является спорным. Следовательно, точность геодезических наблюдений должна оставаться на весь период эксплуатации сооружения, независимо от интенсивности осадки и по её величине можно будет судить об изменении степени деформации сооружения и если она соизмерима с точностью, то сделать предположение о возможной стабилизации сооружения и принять решение о прекращении наблюдений.

Расчёт периодичности и даты производства геодезических наблюдений по методикам, описанным выше, связан с неопределённостью количества и времени производства геодезических измерений за каждой из марок, установленных на одном и том же сооружении. В то же время выполнение геодезических наблюдений в заданные сроки через равные интервалы времени также не оправдано, т.к. в первые годы эксплуатации основания подавляющего большинства инженерных сооружений более подвержены к деформациям, чем в последующие годы. В этом нетрудно убедиться, сравнивая приращения осадок, вычисленных по формуле (1), где скорость осадки убывает по экспоненциальной зависимости, следовательно, чтобы измерить равные значения осадок интервал времени между последующими наблюдениями можно увеличить.

Решение этих вопросов имеет важное прикладное значение, т.к. от его результата зависит установление процессов, протекающих во времени, уточнение видов и параметров расчётных формул, используемых для прогнозирования величин, характеризующих деформации и сравнение их с теоретическими; использование полученных результатов в сходных условиях работы других инженерных

сооружений, правильная организация эксплуатационных мероприятий планирование сил и средств для выполнения геодезических работ, предупреждение аварийных ситуаций и заблаговременное оповещение возможности аварий.

И, наконец, рассмотрение осадки каждой точки инженерного сооружения как реализацию случайной функции тоже не лишено недостатков, т.к. временные характеристики этой функции в большинстве случаев не стационарные - среднее значение дисперсия осадки меняются во времени особенно, когда это касается инженерных сооружений, имеющих различные высоты по исследуемым створам, например, по гребню плотин водохранилищ.

Сказанное свидетельствует о разнообразии методов программирования геодезических наблюдений заосадками и горизонтальными смещениями инженерных сооружений, которые, несмотря на отмеченные особенности, находят применение при изучении и прогнозировании состояния сооружений в процессе их эксплуатации. В дополнении к этим изысканиям в данной работе сделана попытка обоснования возможности сокращения числа и наилучшей организации при заданном количестве геодезических наблюдений за счёт оптимального выбора узлов интерполяции исследуемой функции осадки следующей расчётной формулой [1, с.19].

$$S_{t_i} = S_k(1 - e^{-\alpha t_i}) \quad (1)$$

Для этого предварительно обратимся к рис. 1, где схематически плавной кривой показана теоретическая функция осадки инженерного сооружения, описываемая выражением (1) и возможные случаи её аппроксимации кусочно-линейными функциями  $S_n(t)$ , при условии, что

геодезические наблюдения проведены: а - через равные интервалы, т.е.

$$\Delta t_{i+1,i} = t_{i+1} - t \rightarrow const$$

б - через равные приращения осадок, т.е. когда  $\Delta S_{t_{i+1,i}} = S_{t_i} \rightarrow const$ ; в - при равномерном приближении функции  $S_n(t)$  к функции (1), т.е. когда

$$\Delta S_{t_i + \frac{1}{2}} = \frac{S_{t_{i+1}} - S_{t_i}}{2} - S_{t_i + \frac{1}{2}} \rightarrow const \quad (2)$$

Получение наибольших значений отклонений  $\Delta S_{t_i + \frac{1}{2}}$  аппроксимируемых кусочно-

линейных функций  $S_n(t)$  на аппроксимируемой  $S_t$ , на разных участках даёт основание полагать, что они являются двумя крайними случаями планирования сроков производства геодезических наблюдений при заданном их количестве. Поэтому в таком случае возникает задача организации геодезических наблюдений, обеспечивающих наилучшее приближение функций  $S_n(t)$  к  $S_t$ , полученные при этом результаты позволят объективно оценить процесс деформации с учётом её скорости, интервала времени между наблюдениями и количество наблюдений, что может служить одним из критериев оптимальности при исследовании геодезическим методом деформации инженерных сооружений, обеспечивает минимум затрат при необходимой точности, получения динамической картины деформации сооружений, определения необходимого состава и объёма наблюдений.

В рассмотренной задаче кривая осадки, описываемая выражением (1), аппроксимируется кусочно-линейной функцией (рис.1) в результате которого получается совокупность отрезков линейных функций, ломаное звено которых строится в соответствии с выражением

$$S_{t_{n+1}} = S_t + S_{t_n} (t_{i+1} - t_i) \quad (3)$$

Как и во всех задачах интерполяции нас в первую очередь интересует точность формулы, которую можно повысить, отказавшись от требования равенства узлов интерполяции.

При выборе критерия оптимальности приближения функций  $S_n(t)$  к функции  $S_t$  можем исходить из условия, что на дискретном множестве отрезков  $[ab]$  максимальное отклонение  $\Delta_{\max} = \max[S_{t_i} - S_n(t)]^2 \Delta_t$  средние квадратические отклонения при данном числе узлов  $n$

$$\Delta_{k^2} = \frac{1}{b-a} \sum [S_{t_i} - S_n(t_i)]^2 \Delta_{t_i} \quad (4)$$

были максимальными.

Критерий (4) даёт наилучшее приближение и в случае применения аппроксимирующего полинома фиксированной степени, т.е. полинома равномерного приближения. В этом случае процесс осадки инженерного сооружения описывается полиномом  $n$ -й степени:

$$S_n = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n \quad (5)$$

здесь  $t$  — время наблюдений или номер цикла, если измерения проводят через равные промежутки времени:  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$  коэффициенты уравнения. Вычисление значений коэффициентов многочлена  $S_t$  и дальнейшее равномерное приближение к функции  $\delta_{\epsilon}$  весьма трудоёмко.

Критерий (3) и (4) обладают свойством аддитивности, т.е. складывается из элементарных значений того же критерия полученных на отдельных точках.

Сформулированная выше задача является дискретной задачей оптимального управления заключающейся в выборе таких узлов интерполяции  $t_{i_i}$  обеспечивающих наилучшее приближение аппроксимирующей кусочно-линейной функции  $S_n(t)$  к аппроксимируемой  $S_{t_i}$  [2, с.17].

Поэтому она поддаётся лишь численным методам решения, требующим вычисления приращения осадки,  $\Delta S_{ij}$  при различных  $\Delta t_{ij}$ . Получаемые при таких значениях уравнения типа (3) называются функциональными. В состав таких уравнений одна и та же функция входит при разных значениях аргументов и поэтому их решение требует применения метода динамического программирования, разработанного Р.Беллманом [2, с.25].

Сущность этого метода базируется на использовании следующего принципа оптимальности, если некоторая последовательность решений оптимальна, то отдельные последующие решения внутри её оптимальны по отношению предыдущего решения.

Критерий оптимальности (4) для рассматриваемого нами примера может быть представлена в следующем виде:

$$[\Delta^2] = \sum_{i=0}^n \left( \frac{S_{t_i} + S_{t_{i+1}}}{2} - S_{t_{i+\frac{1}{2}}} \right)^2 \rightarrow \min \quad (6)$$

Для достижения этой цели разложим слагаемые правой части выражения (6) к виду

$$\Delta = \frac{S_{t_0} + S_{t_1}}{2} - S_{t_{\frac{1}{2}}} = \frac{S_{t_1} + S_{t_2}}{2} - S_{t_{\frac{1}{2}}} = \dots = \frac{S_{t_i} + S_{t_{i+1}}}{2} - S_{t_{i+\frac{1}{2}}} \quad (7)$$

Заменив значения функции  $S_{t_i}$  (1) со значениями её соответствующих аргументов после преобразования полученного имеем:

$$-e^{-\alpha t_i} + 2e^{-\alpha t_{i+\frac{1}{2}}} - e^{-\alpha t_{i+1}} - \frac{2\Delta}{S_k} = 0$$

т.к.

$$t_{i+\frac{1}{2}} = t_i + \Delta t_{i+\frac{1}{2}}, \quad t_{i+1} = t_i + 2\Delta$$

то

$$e^{-\alpha t_i} - 2e^{-\alpha(t_i + \Delta t_{i+\frac{1}{2}})} - \frac{2\Delta}{S_k} = 0$$

откуда

$$e^{-\alpha t_i} (e^{-2\alpha \Delta t_{i+\frac{1}{2}}} - 2e^{-\alpha \Delta t_{i+\frac{1}{2}}} + 1) - \frac{2\Delta}{S_k} = 0 \quad (8)$$

Такое уравнение можно образовать из любой составляющей выражения (6), т.к. дата начального наблюдения  $t_i$  назначается или вычисляется по рекуррентной формуле (4), при вычислении её первого множителя является определённым числом заданным или вычисляемым по результатам предыдущих наблюдений. Поэтому, разделив все составляющие выражения (8), получим квадратное уравнение следующего вида

$$e^{-2\alpha \Delta t_{i+\frac{1}{2}}} - 2e^{-\alpha \Delta t_{i+\frac{1}{2}}} + 1 - \frac{2e^{-\alpha t_i}}{S_k} = 0 \quad (9)$$

Решение этого уравнения относительно  $e^{-\Delta t_{i+\frac{1}{2}}}$  с использованием отрицательного корня, дающего значение меньше единицы, позволяет последовательно находить  $\Delta e_{i+\frac{1}{2}}$ , по рекуррентной формуле

$$\Delta t_{i+\frac{1}{2}} = \ln(1 - \sqrt{\frac{2\Delta e^{-\alpha t_i}}{S_k}}) / \alpha \quad (10)$$

и предвычислить сроки осуществления последующих  $i+1$  циклов наблюдений по формуле

$$t_{i+1} = t_i + 2\Delta t_{i+\frac{1}{2}} \quad (11)$$

Таким образом, формулы (10), (11) при известных значениях  $t_i$ ,  $\alpha$ ,  $S_k$ , определённых по результатам первых трёх циклов наблюдений по методике, дают возможность рассчитать приемлемые сроки осуществления последующих циклов наблюдений, что позволяет оптимально организовать сроки осуществления каждого цикла геодезических наблюдений при заданном их количестве и точности [4, с.31].

Таблица

$\Delta=5\text{мм}$	$T_i$	1,0	2,3	3,4	6,1	9,7	20,2	
	$St_i$	114	208	282	336	370	385	
$\Delta=3\text{мм}$	$T_i$	0,8	1,7	2,8	4,1	5,8	8,2	12,1
	$St_i$	90	168	235	288	331	361	379
$\Delta=1\text{мм}$	$T_i$	0,4	0,9	1,4	2,0	2,6	3,4	4,2
	$St_i$	53	1,3	148	190	228	261	290
	$T_i$	5,1	6,2	7,5	9,3	11,8	16,3	
	$St_i$	316	338	355	369	378	38	

Для иллюстрации возможности практической реализации изложенной методики на конкретном случае воспользуемся полуэмпирической формулой, описывающей процесс осадок гребня плотины Каттасайского водохранилища, имеющей вид

$$S_t = 385,1(1 - e^{-0,338t}) \quad (12)$$

Данные этой таблицы свидетельствуют, что при аппроксимации исследуемой экспоненциальной функции осадки плотины  $S_t$  (1) совокупностью отрезков кусочно-линейной функции  $S_n(t)$  (где  $n$  – число наблюдений) с максимальным отклонением  $D = 5$  мм достаточно проводить 6 циклов геодезических наблюдений в сроки, близкие к приведённым в первой строке таблицы с расширяющимися

интервалами по времени и получить при этом величины осадок примерно приведенным во второй строке, а при  $A = 3$  мм требуется увеличить количество циклов геодезических наблюдений до 14.

Рассмотренный пример свидетельствует, что при заданном количестве наблюдений и при известных значениях  $S_k$  и  $\alpha$  полученных теоретическим расчётом или по результатам трёх циклов наблюдений описанным в

появляется возможность организовать сроки производства последующих циклов геодезических наблюдений так, чтобы функция осадки наилучшим образом аппроксимировалась совокупностью кусочно-линейных или других функций, достоверно описывающих процесс осадки инженерного сооружения [4, с.42].

Реализация разработанной методики по рациональной организации геодезических наблюдений может осуществляться по следующей технологической последовательности.

1. По результатам первых трёх циклов геодезических наблюдений или теоретически

определяются параметры  $S_k$  и  $a$  функции осадки.

2. По полученной формуле прогнозируется период возможной стабилизации осадки сооружения, по достижению которой предполагается прекращение геодезических наблюдений.

3. Назначается требуемая точность и общее число наблюдений, и рассчитываются даты производства каждого цикла геодезических наблюдений по формулам (10), (11).

4. После осуществления каждого цикла наблюдений уточняются значения параметров полуэмпирической формулы (1) и рассчитывается срок производства последующих циклов наблюдений.

#### Список использованной литературы

1. Нурматов Э. Х. Анализ и прогноз средней осадки сооружения по результатам трех циклов наблюдений. Геодезия в гидромелиоративном и гидротехническом строительстве. ТИИИМСХ, 1998. с. 18-23.
2. Мубораков Х. Геодезия 2007.с. 365.
3. Авчиев Ж. Амалий геодезия.с. 424. Тошкент 2010 г.
4. Цитович Н. А. Механика грунтов. М.: Высшая школа. 1983.с.211.
5. Федоренко Р. П. Приближенное решение задач оптимального управления. М.: Наука, 1988. с.484.
6. Кемниц Ю. В. Определение параметров эмпирических формул методом наименьших квадратов. М.: Недра, 1972. с.172.

#### Ойматов Рустам Камариддинович

**Лауазымы:** “Геодезия және геоинформатика” кафедрасының доценті, Ташкент ирригация және мелиорациялау институты

**Пошталық мекен-жайы:** 100000, Өзбекстан Республикасы, Ташкент қ., Кари Ниязий к. 39

**Ұялы тел:** 998909323567

#### Исломов Уткир Пирметович

**Лауазымы:** “Геодезия және геоинформатика” кафедрасының аға оқытушысы, Ташкент ирригация және мелиорациялау институты

**Пошталық мекен-жайы:** 100000, Өзбекстан Республикасы, Ташкент қ., Кари Ниязий к. 39

**Ұялы тел:** 998903710959

#### Успанкулов Бекжан Мусабекович

**Лауазымы:** “Мемлекттік кадастрлар” кафедрасының ассистенті, Ташкент ирригация және мелиорациялау институты

**Пошталық мекен-жайы:** 100000, Өзбекстан Республикасы, Ташкент қ., Кари Ниязий к. 39

**Ұялы тел:** 998909601645

**Инженерлік құрылымдардың шөгінділерінің геодезиялық бақылауларын бағдарламалау туралы**

#### Ойматов Рустам Камариддинович

**Должность:** доцент кафедры “Геодезии и геоинформатики” Ташкентского института ирригации и механизации сельского хозяйства

**Почтовый адрес:** 100000, Республика Узбекистан, г. Ташкент, ул. Кари Ниязий 39

**сот. тел:** 998909323567

#### Исломов Уткир Пирметович

**Должность:** старший преподаватель кафедры “Геодезии и геоинформатики” Ташкентского института ирригации и механизации сельского хозяйства

**Почтовый адрес:** 100000, Республика Узбекистан, г. Ташкент, ул. Кари Ниязий 39

**сот. тел:** 998903710959

#### Успанкулов Бекжан Мусабекович

**Должность:** ассистент кафедры “Государственные кадастры” Ташкентского института ирригации и механизации сельского хозяйства

**Почтовый адрес:** 100000, Республика Узбекистан, г. Ташкент, ул. Кари Ниязий 39

**сот. тел:** 998909601645

**О программировании геодезических наблюдений за осадками инженерных сооружений**

**Oymatov Rustam Kamariddinovich**

**Position:** associate Professor of the Department “Geodesy and Geoinformatics” of the Tashkent Institute of irrigation and mechanization of agriculture, Tashkent city

**Mailing address:** 100000, Republic of Uzbekistan, Tashkent, st. Kari Niyaziy 39

**Mob. phone:** 998909323567

**Islomov Utkir Ermatovich**

**Position:** senior lecturer of the Department “Geodesy and Geoinformatics” of the Tashkent Institute of irrigation and mechanization of agriculture, Tashkent city

**Mailing address:** 100000, Republic of Uzbekistan, Tashkent, st. Kari Niyaziy 39

**Mob. phone:** 998903710959

**Uspankulov Bekjan Musabekovich**

**Position:** Teacher of the Department " State cadastre " Tashkent Institute of irrigation and mechanization of agriculture, Tashkent city

**Mailing address:** 100000, Republic of Uzbekistan, Tashkent, st. Kari Niyaziy 39

**Mob. phone:** 998909601645

**About programming of geodetic observations of deposits of engineering constructions**