

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗОН ДЕФОРМАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В CREDO РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ 1.0

Иван Владимирович Ветошкин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, студент, тел. (913)019-31-99, e-mail: pastir33@mail.ru

Анастасия Александровна Савина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, студент, тел. (903)933-95-93, e-mail: savi19979@mail.ru

В статье рассматриваются методы математического моделирования и расчета в программном комплексе потенциальной зоны деформаций.

Ключевые слова: деформация, имитационная модель, случайное движение, математическая модель, декомпозиция, агрегирование, кластеризация.

DETECTION OF DEFORMATION ZONES OF ENGINEERING OBJECTS WITH METHODS OF MATHEMATICAL MODELING IN CREDO CALCULATION, DEFORMATION 1.0

Ivan V. Vetoshkin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, phone: (913)019-31-99, e-mail: pastir33@mail.ru

Anastasia A. Savina

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10? Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, phone: (903)933-95-93, e-mail: savi19979@mail.ru

The article discusses the methods of mathematical modeling and methods of calculation of the potential deformation zone in the software complex.

Key words: deformation, simulation model, random motion, mathematical model, decomposition, aggregation, clustering.

Пространственно – временное состояние инженерных объектов не остается постоянным. Изменения происходят из-за влияния внешних либо внутренних факторов, что ведет к деформации инженерного объекта. Деформация – это наиболее значимый параметр, подлежащий контролю.

Недооценка деформационных процессов при строительстве и эксплуатации объектов может привести к необратимым экономическим, экологическим и социальным последствиям. Для определения деформаций существует множество методов. Мониторинг деформаций и активных реакций на многочисленные внешние нагрузки имеет большое значение для поддержания функциони-

рования инженерных сооружений. Деформация происходит от неравномерного движения фундамента инженерного объекта в пространстве и времени [4].

Поэтому, одной из важнейших задач геодезического мониторинга является определение и прогнозирование потенциальной зоны деформации инженерного объекта.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

- определены зоны деформации инженерного объекта в CREDO РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ 1.0;
- определены зоны деформации инженерного объекта методами математического моделирования;
- выполнено сравнение определения деформаций двумя методами.

Целью расчета оснований по деформациям является ограничение абсолютных или относительных перемещений фундаментов и надфундаментных конструкций такими пределами, при которых гарантируется нормальная эксплуатация сооружения и не снижается его долговечность [3].

Исходные данные для расчета зон деформации служат временные ряды координат множества марок, установленных в фундаменте исследуемого объекта [1].

С помощью имитации случайного движения, при условии, что каждая плановая координата в каждый момент времени изменяется случайным образом в заданных пределах, получим плановые координаты наблюдаемых марок X, Y на каждый момент времени, рис. 1, 2.

Наблюдения за объектом выполнялись нивелированием 2 класса. Значения высотных отметок наблюдаемых марок на все циклы измерения представлены на рис. 3.

Исследуемый объект представляет имитационную модель, состоящую из трех блоков не жестко связанных друг с другом. Исследуемый объект с нанесенными на него наблюдаемыми марками представлен на рис. 4.

Дата(мес)	Координата X (м)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	10,0000	11,0000	26,5000	32,0000	41,5000	49,0000	54,5000	57,5000	55,5000	48,0000	45,0000	38,5000	32,0000	26,5000	11,5000
0,14	10,0360	11,0000	26,5260	32,0120	41,5050	49,0260	54,5340	57,5440	55,5310	48,0000	45,0110	38,5350	32,0130	26,5030	11,5410
1,02	10,0250	11,0330	26,5280	32,0470	41,5290	49,0350	54,5320	57,5200	55,5260	48,0310	45,0360	38,5200	32,0260	26,5460	11,5060
1,16	10,0390	11,0300	26,5110	32,0210	41,5400	49,0400	54,5340	57,5050	55,5010	48,0220	45,0260	38,5360	32,0170	26,5010	11,5090
2,09	10,0080	11,0500	26,5310	32,0430	41,5120	49,0160	54,5180	57,5250	55,5130	48,0100	45,0440	38,5330	32,0290	26,5350	11,5260
3,12	10,0120	11,0010	26,5230	32,0110	41,5180	49,0320	54,5310	57,5170	55,5320	48,0120	45,0160	38,5160	32,0430	26,5300	11,5040
4,17	10,0120	11,0370	26,5020	32,0210	41,5450	49,0260	54,5330	57,5480	55,5400	48,0250	45,0020	38,5230	32,0030	26,5240	11,5280
5,00	10,0260	11,0310	26,5460	32,0050	41,5010	49,0150	54,5500	57,5450	55,5450	48,0410	45,0340	38,5480	32,0100	26,5400	11,5370
6,10	10,0470	11,0140	26,5030	32,0420	41,5260	49,0140	54,5050	57,5110	55,5350	48,0050	45,0400	38,5310	32,0090	26,5140	11,5480
6,28	10,0470	11,0210	26,5010	32,0300	41,5240	49,0300	54,5470	57,5140	55,5490	48,0400	45,0100	38,5440	32,0480	26,5150	11,5420
7,18	10,0030	11,0390	26,5250	32,0380	41,5130	49,0060	54,5500	57,5460	55,5330	48,0440	45,0230	38,5020	32,0020	26,5460	11,5280
8,14	10,0350	11,0140	26,5110	32,0170	41,5210	49,0360	54,5120	57,5250	55,5020	48,0060	45,0350	38,5110	32,0250	26,5200	11,5290
10,21	10,0040	11,0500	26,5200	32,0370	41,5080	49,0170	54,5080	57,5500	55,5200	48,0160	45,0240	38,5030	32,0210	26,5460	11,5460
12,00	10,0500	11,0500	26,5500	32,0500	41,5500	49,0500	54,5500	57,5500	55,5500	48,0500	45,0500	38,5500	32,0500	26,5500	11,5500

Рис. 1. Плановые координаты X наблюдаемых марок на каждый момент времени

Дата(мес)	Координата У (м)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	21,0000	30,0000	28,5000	29,0000	29,0000	26,0000	26,0000	21,0000	16,5000	15,5000	16,0000	12,5000	13,5000	15,5000	12,5000
0,14	21,0270	30,0200	28,5070	29,0270	29,0100	26,0060	26,0080	21,0120	16,5390	15,5500	16,0430	12,5090	13,5280	15,5150	12,5280
1,02	21,0310	30,0190	28,5020	29,0300	29,0120	26,0400	26,0280	21,0260	16,5460	15,5220	16,0390	12,5050	13,5390	15,5010	12,5190
1,16	21,0100	30,0350	28,5440	29,0400	29,0050	26,0010	26,0260	21,0470	16,5390	15,5170	16,0010	12,5250	13,5400	15,5440	12,5410
2,09	21,0020	30,0340	28,5050	29,0150	29,0490	26,0330	26,0260	21,0020	16,5220	15,5370	16,0480	12,5000	13,5000	15,5480	12,5050
3,12	21,0140	30,0220	28,5420	29,0290	29,0040	26,0120	26,0150	21,0140	16,5430	15,5160	16,0220	12,5140	13,5010	15,5120	12,5500
4,17	21,0500	30,0190	28,5430	29,0190	29,0050	26,0480	26,0290	21,0070	16,5500	15,5410	16,0050	12,5060	13,5290	15,5250	12,5160
5,00	21,0380	30,0170	28,5350	29,0420	29,0130	26,0460	26,0060	21,0000	16,5350	15,5290	16,0160	12,5090	13,5400	15,5430	12,5250
6,10	21,0140	30,0300	28,5130	29,0270	29,0330	26,0090	26,0380	21,0500	16,5390	15,5000	16,0090	12,5290	13,5500	15,5430	12,5410
6,28	21,0060	30,0290	28,5000	29,0500	29,0110	26,0490	26,0450	21,0420	16,5080	15,5020	16,0330	12,5190	13,5250	15,5320	12,5340
7,18	21,0120	30,0310	28,5450	29,0450	29,0090	26,0090	26,0420	21,0120	16,5190	15,5200	16,0030	12,5220	13,5480	15,5100	12,5250
8,14	21,0430	30,0200	28,5400	29,0200	29,0110	26,0200	26,0000	21,0230	16,5390	15,5000	16,0450	12,5240	13,5280	15,5500	12,5110
10,21	21,0020	30,0200	28,5450	29,0180	29,0030	26,0390	26,0430	21,0380	16,5010	15,5010	16,0040	12,5220	13,5400	15,5380	12,5420
12,00	21,0500	30,0500	28,5500	29,0500	29,0500	26,0500	26,0500	21,0500	16,5500	15,5500	16,0500	12,5500	13,5500	15,5500	12,5500

Рис. 2. Плановые координаты У наблюдаемых марок на каждый момент времени

Дата (мес)	Отметки высот контрольных точек (м)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,00	141,3675	141,3555	141,3517	141,3584	141,3626	141,3587	141,3517	141,3525	141,1225	141,3513	141,3312	141,1226	141,3564	141,3515	141,2194
0,14	141,3686	141,3514	141,3556	141,3515	141,3654	141,3566	141,3526	141,3526	141,1254	141,3554	141,3355	141,1257	141,3565	141,3524	141,2175
1,02	141,3665	141,3553	141,3595	141,3556	141,3627	141,3515	141,3527	141,3517	141,1265	141,3595	141,3394	141,1228	141,3516	141,3525	141,2126
1,16	141,3684	141,3567	141,3554	141,352	141,3668	141,3504	141,3556	141,3528	141,1284	141,3564	141,3325	141,1266	141,3507	141,3524	141,2114
2,09	141,3653	141,3598	141,3515	141,3565	141,3679	141,3563	141,3517	141,3557	141,1295	141,3593	141,3364	141,1225	141,3568	141,3515	141,2125
3,12	141,3614	141,3559	141,3534	141,3586	141,3663	141,3525	141,3595	141,3586	141,1226	141,3551	141,3325	141,1266	141,3526	141,3596	141,2156
4,17	141,3607	141,358	141,3595	141,3577	141,3622	141,3556	141,3541	141,3527	141,1227	141,3512	141,3324	141,1255	141,3555	141,3587	141,2165
5,00	141,3656	141,3551	141,3526	141,3524	141,3613	141,3577	141,3518	141,3568	141,1238	141,3514	141,3325	141,1216	141,3574	141,3552	141,2183
6,10	141,3624	141,3522	141,3527	141,3505	141,3604	141,3598	141,3589	141,3559	141,1257	141,3524	141,3303	141,1207	141,3596	141,3563	141,2115
6,28	141,3697	141,3513	141,3566	141,3566	141,3625	141,3587	141,3595	141,3563	141,1216	141,3564	141,3324	141,1228	141,3587	141,3594	141,2126
7,18	141,3658	141,3505	141,3514	141,3557	141,3696	141,3516	141,3584	141,3594	141,1205	141,3513	141,3383	141,1214	141,3518	141,3551	141,2165
8,14	141,3688	141,3596	141,3593	141,3558	141,3707	141,3557	141,3535	141,3505	141,1299	141,3594	141,3352	141,1235	141,3529	141,3512	141,2112
10,21	141,3688	141,3597	141,3594	141,3552	141,3626	141,3518	141,3576	141,3573	141,129	141,3594	141,3351	141,1226	141,351	141,3593	141,2155
12,00	141,3668	141,3588	141,3585	141,3555	141,3684	141,3509	141,3577	141,3582	141,128	141,3584	141,3357	141,1283	141,3502	141,3541	141,2166

Рис. 3. Плановые координаты Z наблюдаемых марок на каждый момент времени

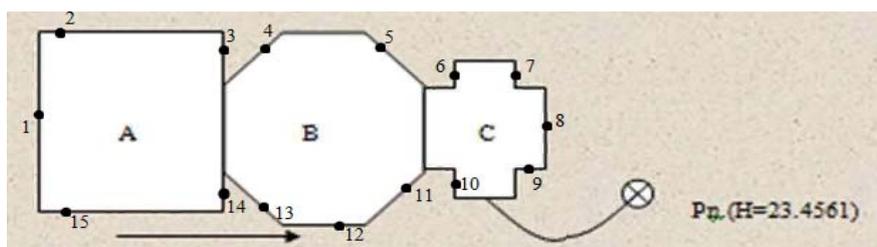


Рис. 4. Исследуемый объект с нанесенными на него наблюдаемыми марками

Предельная абсолютная погрешность определения исходных данных для плановых координат 0,020 м, для высотных 0,0015 м.

1. *Определение потенциальной зоны деформации инженерного объекта в credo расчет деформаций 1.0.*

Программа предназначена для обработки и интерпретации результатов геодезических измерений по многократным наблюдениям за горизонтальными и вертикальными смещениями, может применяться для мониторинга зданий и сооружений, просадок грунта, оползнеопасных участков и для целого ряда аналогичных задач.

Для точных определений деформационных характеристик наблюдаемых марок в первую очередь необходимо определить устойчивость опорной сети с пунктов которой проводились наблюдения. Ведомость устойчивости опорной сети представлена на рис. 5.

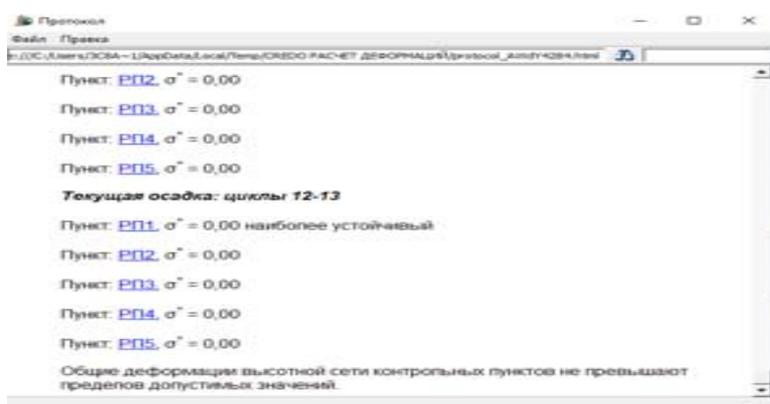


Рис. 5. Ведомость устойчивости опорной сети

Программный комплекс CREDO расчет деформации позволяет определить величину плановых смещений каждой марки и направления на каждый момент времени.

Рассмотрим плановые смещение и направление всех марок на каждый момент времени, рис. 6.

Построение и отображение при помощи изолиний и градиентной заливки определяет следующие величины деформационной поверхности: абсолютное смещение марок по высоте, скорости смещения марок по высоте. Создание полноценной трехмерной визуализации деформационной поверхности, рис. 7, в виде ортографической или центральной проекции дает возможность просмотра динамики процессов в режиме анимации.

Credo расчет деформации автоматически строит графики развития осадок, рис. 8, и графики развития деформаций, рис. 9.

Обработав результаты вычислений в программе выявим максимальные смещения наблюдаемых марок, рис. 10. Максимальные плановые и высотные смещения приходились на 7, 9, 3, 5,10,13,4 наблюдаемую марку.

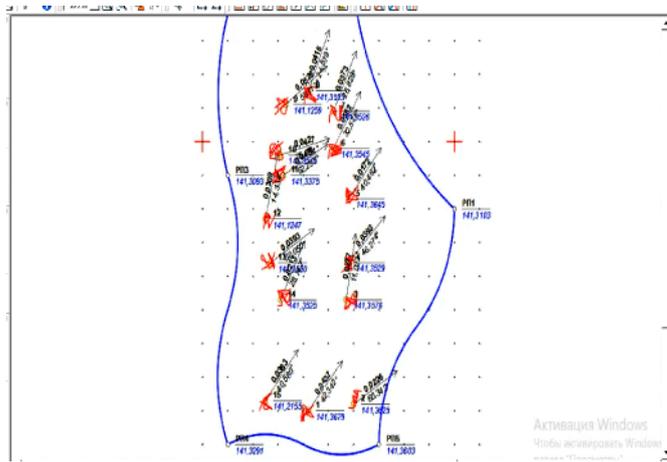


Рис. 6. Плановые смещение и направление всех марок на каждый момент времени

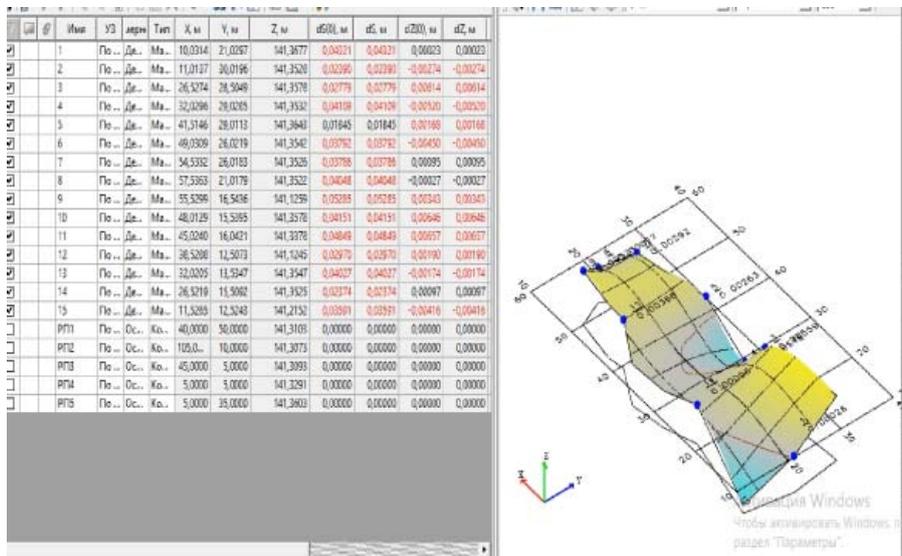


Рис. 7. Полноценная трехмерная деформационная поверхность

График развития осадок во времени

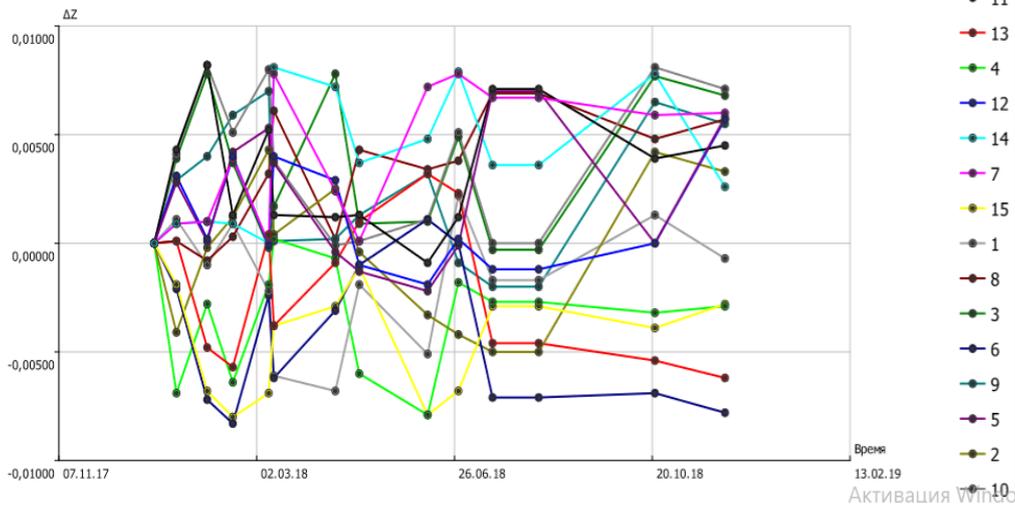


Рис. 8. Графики развития осадок во времени

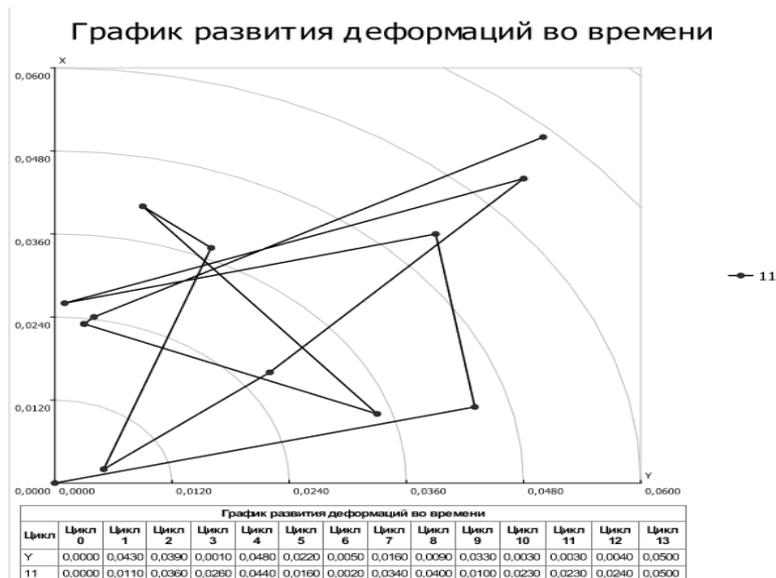


Рис. 9. График развития деформаций

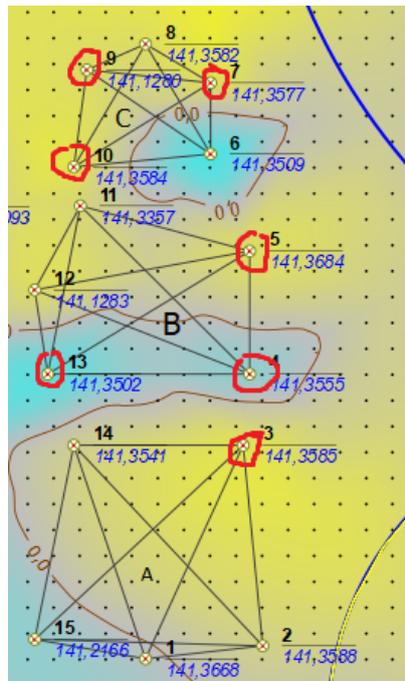


Рис. 10. Максимальные плановые и высотные смещения

Однако, определить целостную картину потенциальной зоны деформации и динамики изменения ПВС возможно математическими методами.

2. Определение зоны деформации инженерного объекта методами математического моделирования.

Математическая модель – это описание объекта математическими средствами, позволяющие выводит суждения о некоторых свойствах объекта при помощи формальных процедур.

Определим относительное движение методом декомпозиции.

Декомпозиция, как процесс расчленения, позволяет рассматривать любую исследуемую систему как сложную, состоящую из отдельных взаимосвязанных подсистем, которые, в свою очередь, также могут быть расчленены на части.

Для определения общего количества взаимосвязей между точкам необходимо найти расстояние между наблюдаемыми марками и изменения их расстояний с течением времени для блоков А, В и С.

Кластеризуем множество точек блоков на подгруппы, по принципу неизменности связей.

Кластеризация – это автоматическое разбиение элементов некоторого множества (объекта, данные, вектора), на группы (кластеры) по принципу схожести.

Для того чтобы кластеризовать множество точек блока на подгруппы, найдем какие значения выходят за предельную абсолютную погрешность, а какие нет, на каждый момент времени, условно полагая предельную абсолютную погрешность 0,0283 м.

Если хотя бы в одной из связи между наблюдаемыми марками на какой либо момент времени не соблюдается условие (1), то связь между контрольными точками изменяется [2].

$$S_{\text{доп.}} \geq \Delta S \quad (1)$$

В блоке А получим подблок 2–14, так как все значения этой связи находятся в допуске.

В блоке В получим подблок 4–13, так как все значения этой связи находятся в допуске.

В блоке С не будет подблоков, так как во всех связях этого блока есть значения, которые выходят за допуск.

Определим первичное состояние каждого подблока относительно друг друга в фазовом пространстве.

Агрегирование – операция противоположная декомпозиции; установление отношений на заданном множестве элементов. В результате образуется агрегат – такое объединение приводит к появлению нового качества за счет конкретных взаимосвязей между конкретными элементами агрегата.

Агрегируем координаты связей, значения которых не выходят за пределы допуска, на все моменты времени, получим значения фазовых координат $\mu(t)$ и $a(t)$.

На основе полученных результатов можно предположить, что потенциальная зона деформации будет проходить между блоками А и В. Это подтверждают расчеты и визуализация в *credo* расчет деформации, рис. 11.

Выполнив расчеты в программном комплексе *credo* расчет деформации и методами математического моделирования можно сделать следующий вывод:

В *credo* расчет деформаций, программа автоматически обрабатывает необходимую информацию. Производит вычисления параметров для отдельных деформационно-осадочных контрольных точек. Создает полноценную трехмер-

ную визуализации деформационной поверхности в виде ортографической или центральной проекции с возможностью просмотра динамики процессов в режиме анимации.

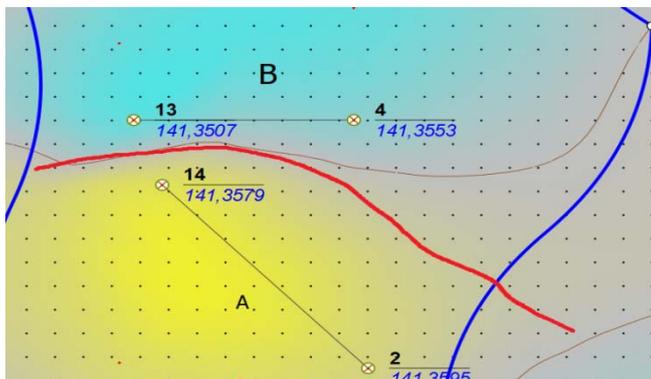


Рис. 11. Потенциальная зона деформации объекта

Выявить зоны деформации в программных комплексах можно по максимальным смещениям наблюдаемых марок, однако, определить целостную картину динамики изменения ПВС, возможно математическими методами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бугакова Т.Ю. Моделирование изменения пространственно – временного состояния инженерных сооружений и природных объектов по геодезическим данным // Вестник СГУ-ГиТ. – 2015. – Вып. 1 (29). – С. 34–42.
2. Лаптев Г.Ф. Элементы векторного исчисления. – М., 1975. – 336 с.
3. Сибриков С.Г. Техногенные системы и экологический риск: учебное пособие / С.Г. Сибриков; Яросл. го. ун – т им. П.Г Демидова. – Ярославль: ЯрГУ, 2009. – 156 с.
4. Скрипников В.А., Скрипникова М.А. Прикладная геодезия: учебное пособие. – Новосибирск: СГУГиТ, 2017. – 87 с.

© И. В. Ветошкин, А. А. Савина, 2019