ООО «Сигма Тау»
Москва, шоссе Энтузиастов, 56, стр. 44, пом. 13 (офис 1006),
111123 ОГРН: 1177746277323; ИНН: 7720374490; КПП: 772001001
www.sigma-tau.xyz info@sigma-tau.xyz
8 (499) 398-28-88

РАБОЧАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы

ОКПД2 71.20.19. Выполнение расчетов по оптимизации распределения инъекционных объемов компенсационного нагнетания манжетных колонн с учетом результатов мониторинга подъема здания ГАЭС и накопленных инъекционных объемов на ярусах с 8 по 5 манжетных колонн за период с начала компенсационного нагнетания при выравнивании станционного узла Загорской ГАЭС-2 в 2023 году, расположенного в Московской области, Сергиево-Посадском районе, рабочий поселок Богородское в рамках выполнения работ "Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы

Том 1

П-35/19-02

Москва
2023

ООО «Сигма Тау»
Москва, шоссе Энтузиастов, 56, стр. 44, пом. 13 (офис 1006),
111123 ОГРН: 1177746277323; ИНН: 7720374490; КПП: 772001001
www.sigma-tau.xyz info@sigma-tau.xyz
8 (499) 398-28-88

РАБОЧАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы

ОКПД2 71.20.19. Выполнение расчетов по оптимизации распределения инъекционных объемов компенсационного нагнетания манжетных колонн с учетом результатов мониторинга подъема здания ГАЭС и накопленных инъекционных объемов на ярусах с 8 по 5 манжетных колонн за период с начала компенсационного нагнетания при выравнивании станционного узла Загорской ГАЭС-2 в 2023 году, расположенного в Московской области, Сергиево-Посадском районе, рабочий поселок Богородское в рамках выполнения работ "Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы

Том 1

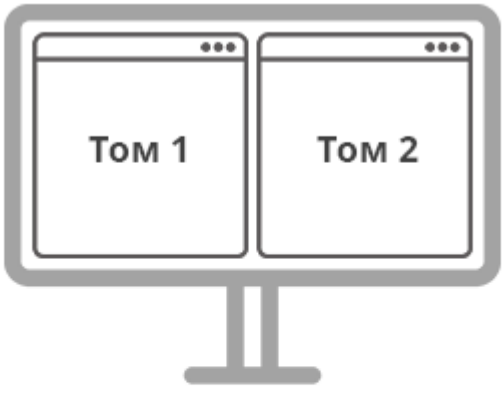
П-35/19-02

Генеральный директор, к.т.н.	А.Н. Симутин
Главный инженер, к.т.н.	Е.А. Хотеев
Начальник отдела расчетных обоснований, к.т.н.	А.В. Дейнеко

Москва
2023

Список исполнителей

Генеральный директор, к.т.н.	А.Н. Симутин
Главный инженер, к.т.н.	Е.А. Хотеев
Начальник отдела расчетных обоснований, к.т.н.	А.В. Дейнеко
Начальник отдела мониторинга	С.С. Смирнов
Ведущий инженер	Р.С. Серегин
Ведущий инженер	Д.А. Власов



Работа разделена на 2 тома: заключение и приложения, для удобства просмотра расположите два окна рядом.

Содержание тома 1

Список исполнителей 1

Содержание тома 1 2

1. Общие сведения 4
1.1. Основание 4
1.2. Цель работы 4
1.3. Задачи работы 4

2. Нормативные и иные источники информации 5

3. Краткое описание объекта, условий строительства и выравнивания высотного положения 7
3.1. Состав сооружений 7
3.2. Основные параметры объекта 9
3.3. Инженерно-геологические условия 11
3.4. Просадка здания ГАЭС 12
3.5. Пространственное положение здание ГАЭС 14
3.6. Выравнивание здания ГАЭС 17

4. Основные результаты сопоставительного анализа распределения проектных и фактических объемов инъектирования за период с начала выполнения компенсационного нагнетания 20

5. Основные результаты мониторинга подъема здания ГАЭС в сравнении с расчетным прогнозом 25

6. Оптимизация распределения объемов компенсационного раствора по ярусу 5 манжетного поле 30
6.1. Методика оптимизации распределения объемов компенсационного раствора на основе математического моделирования методом конечных элементов с использованием теории планирования эксперимента 30
6.2. Оптимизационные расчеты на основе проектного распределения объемов компенсационного раствора 31
6.3. Оптимизационные расчеты на основе холмообразного распределения объемов компенсационного раствора 39
6.4. Оптимизационные расчеты на основе сферических, конических и круговых распределений объемов компенсационного раствора 45

7. Разработка сменных заданий 49

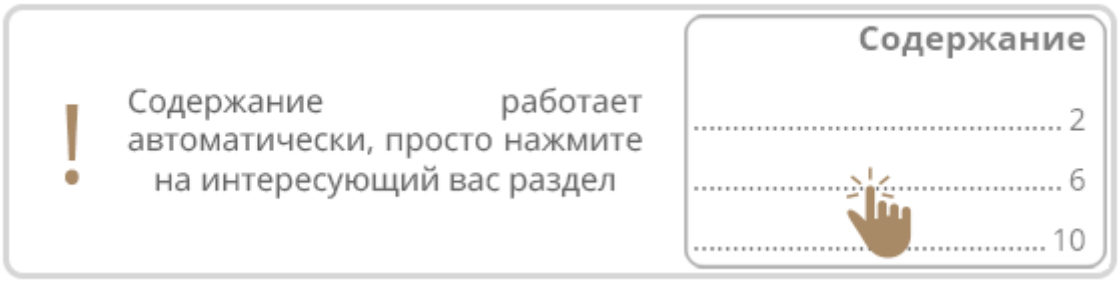
8. Выводы 50

Приложение А. Лицензии и сертификаты 51

Приложение Б. Техническое задание 56

Приложение В. Результаты сопоставления проектных и фактических объемов инъектирования 58
В.1. Результаты сопоставления по ярусу 6 58
В.2. Результаты сопоставления по ярусам 8, 7 и 6 суммарно 75
В.3. Результаты сопоставления по ярусу 5 (накопленные распределения по сменным заданиям на апрель 2023 года) 92

Приложение Г. Сценарные варианты распределения объемов компенсационного раствора по ярусу 5 манжетного поля 100
Г.1. Варьирование проектного распределения объемов компенсационного раствора по теории планирования эксперимента. Базовое факторное пространство..... 100
Г.2. Варьирование проектного распределения объемов компенсационного раствора по теории планирования эксперимента. Дополнительное факторное пространство..... 173
Г.3. Варьирование холмообразного распределения объемов компенсационного раствора по теории планирования эксперимента 246
Г.4. Варьирование смещения в плане холмообразного распределения объемов компенсационного раствора по теории планирования эксперимента..... 267
Г.5. Варианты сферических, конических и круговых распределений объемов компенсационного раствора 272



1. Общие сведения

1.1. Основание

Договор и техническое задание на выполнение работ между ООО «Сигма Тау» и АО «Институт Гидропроект» № П-35/19-02 от 31.03.2023 по теме: «ОКПД2 71.20.19. Выполнение расчетов по оптимизации распределения инъекционных объемов компенсационного нагнетания манжетных колонн с учетом результатов мониторинга подъема здания ГАЭС и накопленных инъекционных объемов на ярусах с 8 по 5 манжетных колонн за период с начала компенсационного нагнетания при выравнивании станционного узла Загорской ГАЭС-2 в 2023 году, расположенного в Московской области, Сергиево-Посадском районе, рабочий поселок Богородское в рамках выполнения работ "Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы».

1.2. Цель работы

Работа направлена на обеспечение выравнивания высотного положения здания Загорской ГАЭС-2 на реке Кунье, нарушенного в результате инцидента 17.09.2013, методом управляемого компенсационного нагнетания.

Целью работы явления оптимизация распределения инъекционных объемов компенсационного нагнетания на ярусе 5 манжетных колонн с учетом результатов мониторинга подъема здания ГАЭС и накопленных инъекционных объемов на ярусах с 8 по 5 манжетных колонн за период с начала работ по компенсационному нагнетанию по настоящее время.

Цель работы является составной частью научно-технического сопровождения процесса компенсационного нагнетания и направлена на обеспечение эффективности компенсационного нагнетания путем учёта фактических данных, полученных по ходу проведения работ. В ходе выполнения работы допускается корректировка распределения инъекционных объемов компенсационного нагнетания в порядке научно-технического сопровождения, как предусмотрено указаниями рабочей документации.

Непосредственной задачей работы является разработка оптимизированных сменных заданий на компенсационное нагнетания в количестве 6 комплектов документации на 45 инъекционных манжетных колонн 5 яруса с количеством от 70 до 140 манжет в каждой манжетной колонне по выбранным расчетным сценариям с целью получения максимального вертикального перемещения здания станции.

1.3. Задачи работы

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- анализ исходных данных, в том числе результатов мониторинга подъема здания ГАЭС и накопленных инъекционных объемов на ярусах с 8 по 5 (нумерация снизу вверх) манжетных колонн за период с начала компенсационного нагнетания по настоящее время;
- разработка сценарных вариантов распределения медленнотвердеющего компенсационного раствора по ярусу 5 манжетного поля и сопоставительное иссле-

дование этих вариантов путем вычислительного экспериментирования по теории планирования эксперимента на основе математического моделирования процесса компенсационного нагнетания методом конечных элементов на пространственной геотехнической модели системы «здание ГАЭС — основание» с учетом упрочнения грунта по модели Hardening Soil.

- на основе лучших вариантов распределения медленнотвердеющего компенсационного раствора разработка 6 комплектов сменных заданий на компенсационное нагнетание для суммарного объема медленнотвердеющего компенсационного раствора 1 500 000 литров
- выработка выводов и рекомендаций.

2. Нормативные и иные источники информации

Нормативные документы:

2.1. Федеральный закон № 117-ФЗ от 21.07.1997 «О безопасности гидротехнических сооружений» (с изменениями на 11.06.2021).

2.2. Федеральный закон № 384-ФЗ от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (с изменениями на 02.07.2013).

2.3. Постановление Правительства РФ № 815 от 28.05.2021 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений", и о признании утратившим силу постановления Правительства Российской Федерации от 4 июля 2020 г. № 985».

2.4. Приказ Росстандарта № 687 от 02.04.2020 «Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований ФЗ от 30.12.2009 № 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений"» (с изменениями на 06.07.2022).

2.5. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.

2.6. СП 23.13330.2018. Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85.

2.7. СП 40.13330.2012. Плотины бетонные и железобетонные. Актуализированная редакция СНиП 2.06.06-85.

2.8. СП 41.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87.

2.9. СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003.

2.10. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*.

Специальные технические условия:

2.11. СТУ 1938-40-201. Специальные технические условия на проектирование и строительство Загорской ГАЭС-2 на р. Кунья. Изменение проектных решений устройства основания здания ГАЭС при проведении работ по стабилизации сооружений станцион-

ного узла и восстановлении высотного положения здания ГАЭС по технологии компенсационного нагнетания по адресу: Московская обл., Сергиево-Посадский район, пос. Богородское, д. 101.

Материалы, переданные Заказчиком в качестве исходных данных:

2.12. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы. Основные положения проекта. Пояснительная записка. Шифр 1938-40-094.1, изм. 4. М., Институт Гидропроект», 2017.

2.13. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы. Проект организации строительства. Пояснительная записка. Часть 1. Шифр 1938-40-094.8.1, изм. 4. М., Институт Гидропроект», 2017.

2.14. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы. Проект организации строительства. Пояснительная записка. Часть 2. Шифр 1938-40-094.8.2, изм. 5. М., Институт Гидропроект», 2017.

2.15. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы. Обследование несущих конструкций. Оценка состояние несущих конструкций и рекомендации по их усилению. Шифр 1938-40-094.ТО4, изм. 3. М., Институт Гидропроект», 2017.

2.16. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы. Обследование несущих конструкций. Оценка состояние несущих конструкций и рекомендации по их усилению. Приложение Г. Научно-технический отчет о численном моделировании процесса выравнивая здания ГАЭС по технологии компенсационного нагнетания. Шифр 1938-40-094.ТО4.П. М., Институт Гидропроект», 2017.

2.17. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы. Отчет об инженерно-геологических изысканиях. Шифр 1938-40-094.ИГИ.1, изм. 4. М., Институт Гидропроект», 2017.

2.18. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы. Отчет об инженерно-геологических изысканиях. Геотехническая часть. Шифр 1938-40-094.ИГИ.2, изм. 1. М., Институт Гидропроект», 2017.

2.19. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы. Разработка рабочей документации на период выравнивания здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 Расчетное определение параметров компенсационного нагнетания (количества инъекционного материала и его распределения) в основание здания Загорской ГАЭС-2 на реке Кунье, обеспечивающее выравнивание высотного положения здания ГАЭС (в 2-х томах). Шифр П-69/18-09-РД. М., ООО «Сигма Тау», АО «Институт Гидропроект», 2020.

2.20. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы. Разработка рабочей документации на период выравнивания здания станционного узла Загорской ГАЭС-2. Ретроспективный анализ результатов компенсационного нагнетания на ярусах 8 и 7 манжетных колонн в части фактического распределения инъекционных объемов и его влияния на подъем здания ГАЭС в сравнении с проектным решением. Шифр П-35/19-01. М., ООО «Сигма Тау», АО «Институт Гидропроект», 2022.

3. Краткое описание объекта, условий строительства и выравнивания высотного положения

3.1. Состав сооружений

Основные сооружения Загорской ГАЭС-2 располагаются в северо-восточной части Московской области в 20 км от г. Сергиева Посада и в 5 км от г. Краснозаводска в поселке городского типа Богородское в пойме реки Куньи и на ее левобережном плато. Площадка под Загорскую ГАЭС–2 расположена в непосредственной близости от действующей Загорской ГАЭС (рис. 3.1.1).

В состав основных сооружений Загорской ГАЭС-2 входят:

- здание Загорской ГАЭС-2, которое получило непроектную просадку в результате инцидента 17.09.2013;
- сооружения в нижнем бьефе: монтажная площадка, временная монтажная площадка, подпорные стены напорного фронта нижнего бьефа ПС-3, ПС-4, ПС-5, ПС-9, ПС-10, помещение пусковых тиристорных устройств (ППТУ № 4), сопрягающие подпорные стены верхнего бьефа, служебно-производственный корпус, среди указанных сооружений значительную непроектную просадку в результате инцидента 17.09.2013 получили ПС-3 и ППТУ № 4;
- четыре нитки сталежелезобетонных открытых напорных водоводов с внутренним диаметром 7,50 м, наружным диаметром 8,50 м, протяженность каждой нитки около 780 м, фундамент – буронабивные сваи диаметром 1,2 м с ростверком;
- сооружения в верхнем бьефе: ограждающая земляная дамба верхнего бассейна, водоприемник, встроенный в тело земляной дамбы, подпорные стены напорного фронта верхнего бьефа, сопрягающие подпорные стены верхнего бьефа;
- нижний аккумулирующий бассейн, представляющий собой водохранилище на реке Кунье, являющийся общим для Загорской ГАЭС и Загорской ГАЭС-2 (для создания необходимой дополнительной полезной емкости в размере 11,8 млн. м^3 для работы Загорской ГАЭС-2 выполнено расширение бассейна за счет углубления дна, разработки откосов существующего бассейна и предусмотрена дополнительная емкость в районе Краснозаводской поймы р. Куньи);
- реверсивный канал, сопрягающей напорный фронт сооружений нижнего бьефа с нижним аккумулирующем бассейном;
- верхний аккумулирующий бассейн, огражденный земляной дамбой, которая примыкает к существующей дамбе верхнего аккумулирующего бассейна Загорской ГАЭС;
- сооружения выдачи мощности, включающие в себя воздушные линии электропередач 500 кВ, КРУЭ-500 кВ, здание ППУ, компрессорную, кабельный туннель от СПК до ППУ.



Рисунок 3.1.1. Космоплан (Яндекс-карты) действующей Загорской ГАЭС и строящейся Загорской ГАЭС-2 (ЗаГАЭС-2)

3.2. Основные параметры объекта

Загорская ГАЭС-2 имеет следующие основные параметры:

Мощность: в генераторном режиме в насосном режиме	 840 МВт 1000 МВт
Число гидроагрегатов (нумерация гидроагрегатов принята со стороны монтажной площадки и Загорской ГАЭС)	4 ед. (№№ 7–10)
Напор расчетный: в генераторном режиме в насосном режиме	 100 м 97,5 м
Рабочая емкость бассейнов суточного регулирования	11,9 млн. м^3
Число часов работы: в генераторном режиме в насосном режиме	 3,5 часа 4 часа
Выработка электроэнергии при разряде при заряде	 2,9 ГВт·ч 3,9 ГВт·ч
Годовые показатели: выработка электроэнергии потребление электроэнергии	 1000 ГВт·ч 1350 ГВт·ч

Основные строительные параметры здания ГАЭС

Конструктивная схема	Монолитное железобетонное неразрезное
Длина (поперек потока)	106,83 м
Характерная ширина (вдоль потока по фундаментной плите)	74,33 м
Максимальная ширина (вдоль потока от консоли со стороны водоводов на отм. 149,85 до консоли реверсивного канала на отм. 166,40)	75,21 м
Характерная высота (от отм. 117,00 фундаментной плиты агрегатных блоков до отм. 166,40 кранового моста нижнего бьефа)	49,40 м
Максимальная высота (от отм. 115,00 фундаментной плиты приямка насосов осушения до отм. 171,13 парапета покрытия машзала)	56,13 м

На рисунке 3.2.1 представлен сводный координационный план здания ЗаГАЭС-2, на котором совмещены строительные оси здания с геодезической системой координат, используемой для устройства скважин в рамках работ по выравниванию методом управляемого компенсационного нагнетания.

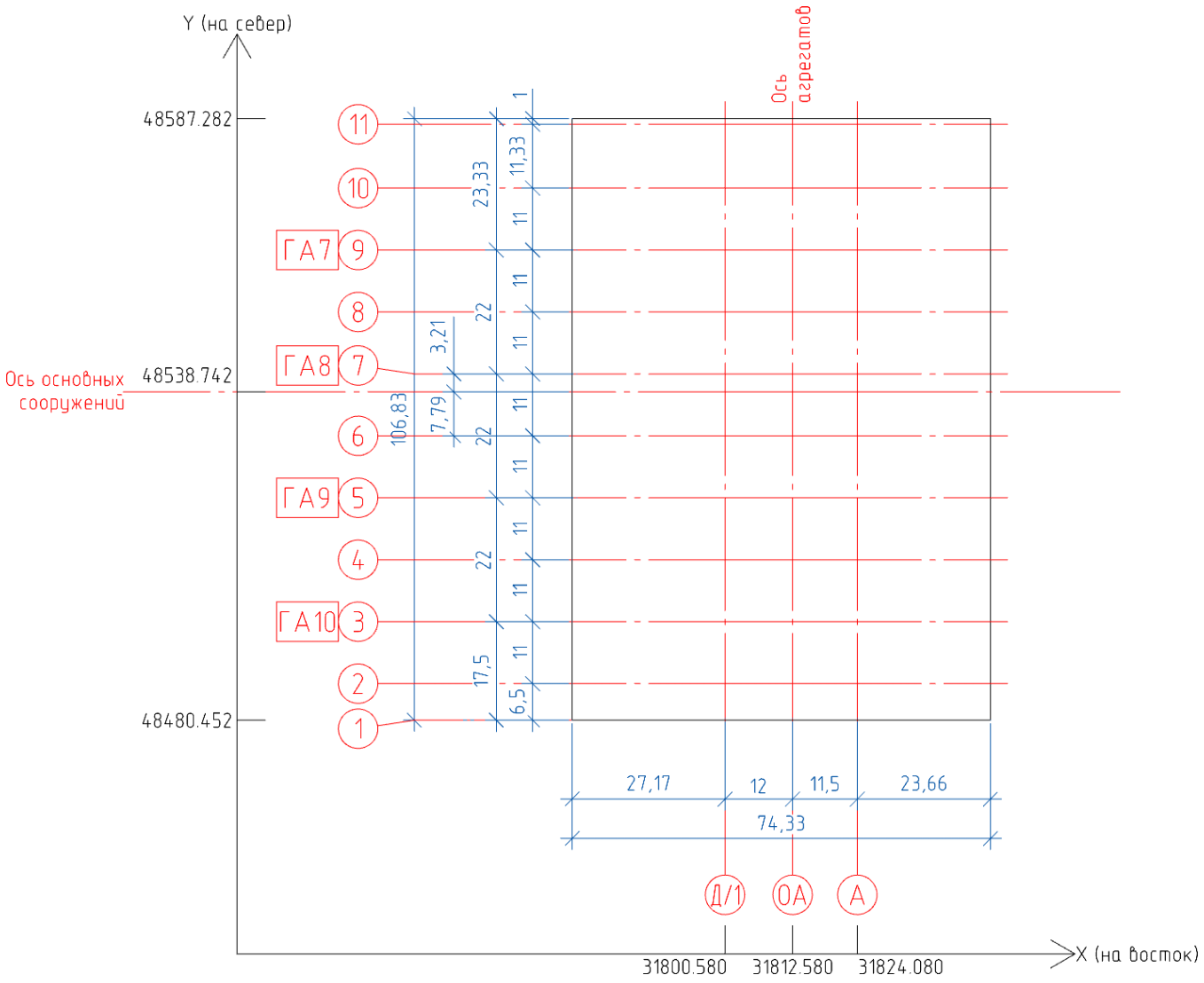


Рисунок 3.2.1. Сводный координационный план (габаритные размеры здания ГАЭС указаны по подошве фундаментной плиты)

3.3. Инженерно-геологические условия

Общее геологическое строение участка Загорской ГАЭС-2 определяется наличием двух структурно-стратиграфических ярусов.

Коренная часть изученного геологического разреза, сложенная, в основном, породами мелового возраста, представлена ритмично чередующимися пластами и пачками песчаного и глинистого состава. При этом в качестве основных выделяются (снизу вверх):

- альбаптские песчаные отложения с подчиненными прослоями глин (K1al2+ap), мощностью до 50 (абсолютные отметки 135–140);
- верхнеальбские (K1al3) глины черные, слюдистые (парамоновская свита), мощностью 30 м, с хорошо выдержанным положением кровли и подошвы (отметки 170 и 140);
- сеноманские (K2cm) мелко-среднезернистые пески мощностью 10–15 м. В присклоновой части мощность сокращается до 5–7 м за счет размывов и экзарации;
- сантонские зеленоцветные породы (K2 st), для которых в целом принято название «зеленые глины». Представлены в нижней части разреза преимущественно глинами зеленовато-бурыми, слюдистыми, в верхней части – глауконит-кварцевыми опоковидными песчаниками. Суммарная мощность пород составляет 15–20 м. Их эродированная кровля располагается в пределах абсолютных отметок 202,50–206,20.

Новейшие рыхлые отложения залегают в интервале отметок от 30 до 260. Они имеют сложное строение и широкий возрастной диапазон – от плиоцена до современности. При этом наибольшее распространение получили образования среднеплейстоценового возраста.

3.4. Просадка здания ГАЭС

Около 23 часов 17.09.2013 произошел инцидент, связанный с прорывом напорного фронта нижнего бьефа и затоплением котлована Загорской ГАЭС-2 и внутренних помещений здания ГАЭС до отм. 162,35 (соответствующей уровню воды в нижнем аккумулирующем бассейне в это время). Механизм прорыва напорного фронта заключался в образовании эрозионного канала непосредственно под фундаментной плитой здания ГАЭС в районе гидроагрегата № 10.

Образование эрозионного канала стало причиной неравномерной просадки здания ГАЭС и ПС-3 с навалом правого устоя здания ГАЭС на ПС-3. Неравномерная осадка и силовое взаимодействие со смежным сооружением, в свою очередь, вызвали изменение напряженно-деформированного состояния монолитных железобетонных конструкций здания ГАЭС и силовое трещинообразование.

График понижения уровня воды представлен на рисунке 3.4.1. За счет сработки нижнего аккумулирующего бассейна в течении нескольких часов уровень воды был понижен до отм. 155,5, и далее в течение 3 суток до отм. 152,8. Далее в течение двух месяцев уровень воды был понижен до отм. 148,2, на которой поддерживался до апреля 2014 года в течение работ по стабилизации здания ГАЭС. При этом положении выполнены работы по устройству теплового контура здания в связи с наступившим зимним периодом. Окончательно котлован был осушен к средине лета 2014 года.

В ходе работ по стабилизации здания ГАЭС эрозионный канал заполнен грунтом-заместителем из минеральных композиционных материалов, уложенных методом подводного бетонирования при уровне воды на отм. 148,2 с использованием скважин, пробурённых сквозь здание ГАЭС.

Состояние здания ГАЭС после стабилизации и осушения реверсивного канала представлено на рисунке 3.4.2.

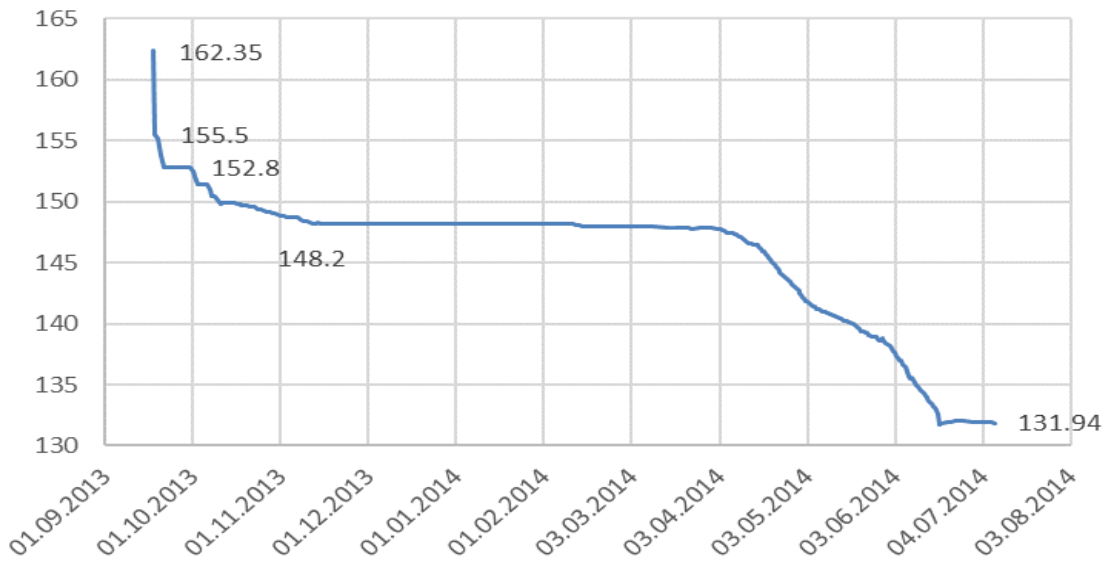


Рисунок 3.4.1. График сработки воды в реверсивном канале в 2013–2014 годах



Рисунок 3.4.2. Состояние нижнего бьефа здания ГАЭС в 2020 году (вид со стороны осушенного реверсивного канала): 1 – разность осадок на гребне реверсивного канала между ПС-3 и ПС-4; 2 – выход минеральных композиционных материалов, уложенных методом подводного бетонирования в районе гидроагрегата № 10

3.5. Пространственное положение здание ГАЭС

В результате инцидента 17.09.2013 здание ГАЭС приобрело сложное пространственное положение. Стабилизировавшееся высотное положение здание ГАЭС определено в [2.19] путем комплексирования инженерно-геодезических данных разных лет и представлено в таблицах 3.5.1–3.5.2 и на рисунках 3.5.1–3.5.4.

Таблица 3.5.1.

Параметры высотного положения в характерных сечениях вдоль потока

Характерное сечение	Координаты		Параметры высотного положение			
	по геодезической оси Y, м	от ПС-3, м	Осадка средняя, м	Перекос*, м	осадка со стороны напорных водоводов, м	осадка со стороны реверсивного канала, м
ДШ ПС-3	48480.452	0	-1.50	0.39	-1.58	-1.19
ГА 10	48497.952	17.500	-1.28	0.40	-1.39	-0.99
ГА 9	48519.952	39.500	-0.91	0.39	-1.05	-0.66
ГА 8	48541.952	61.500	-0.58	0.36	-0.74	-0.38
ГА 7	48563.952	83.500	-0.21	0.31	-0.41	-0.10
ДШ МП	48587.282	106.830	0.10	0.19	-0.03	0.16
* *Знак "+" соответствует повороту в сторону ПС-3*						

Таблица 3.5.2.

Параметры высотного положения в характерных сечениях вдоль оси агрегатов

Характерное сечение	Координаты		Параметры высотного положение			
	по геодезической оси Y, м	от ПС-3, м	Осадка средняя, м	Перекос*, м	осадка со стороны ПС-3, м	осадка со стороны МП, м
Грань со стороны водоводов	31773.410	-39.170	-0.85	1.55	-1.58	-0.03
Ось Д/1	31800.580	-12.000	-0.76	1.72	-1.61	0.11
Ось агрегатов	31812.580	0	-0.71	1.72	-1.59	0.14
Ось А	31824.080	11.500	-0.65	1.62	-1.47	0.15
Грань со стороны реверсивного канала	31847.740	35.160	-0.50	1.36	-1.19	0.16
* Знак "+" соответствует повороту в сторону водоводов						

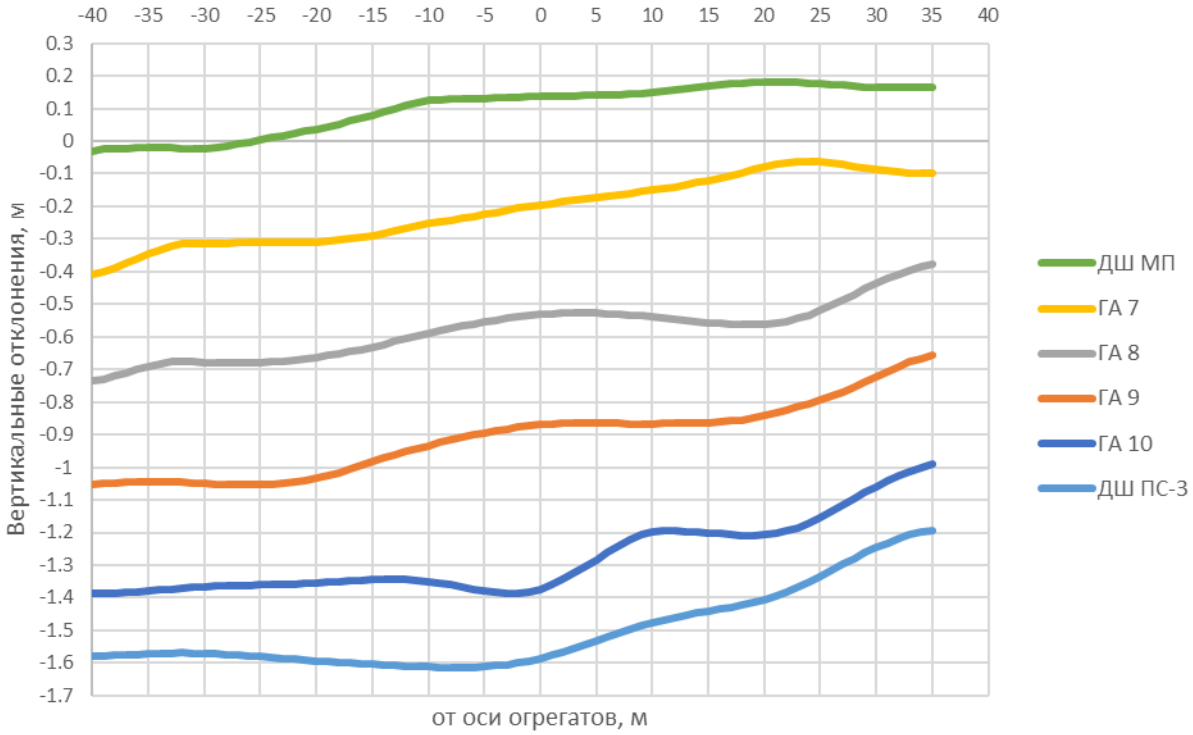


Рисунок 3.5.1. Вертикальные отклонения от проектного положения в сечениях вдоль потока

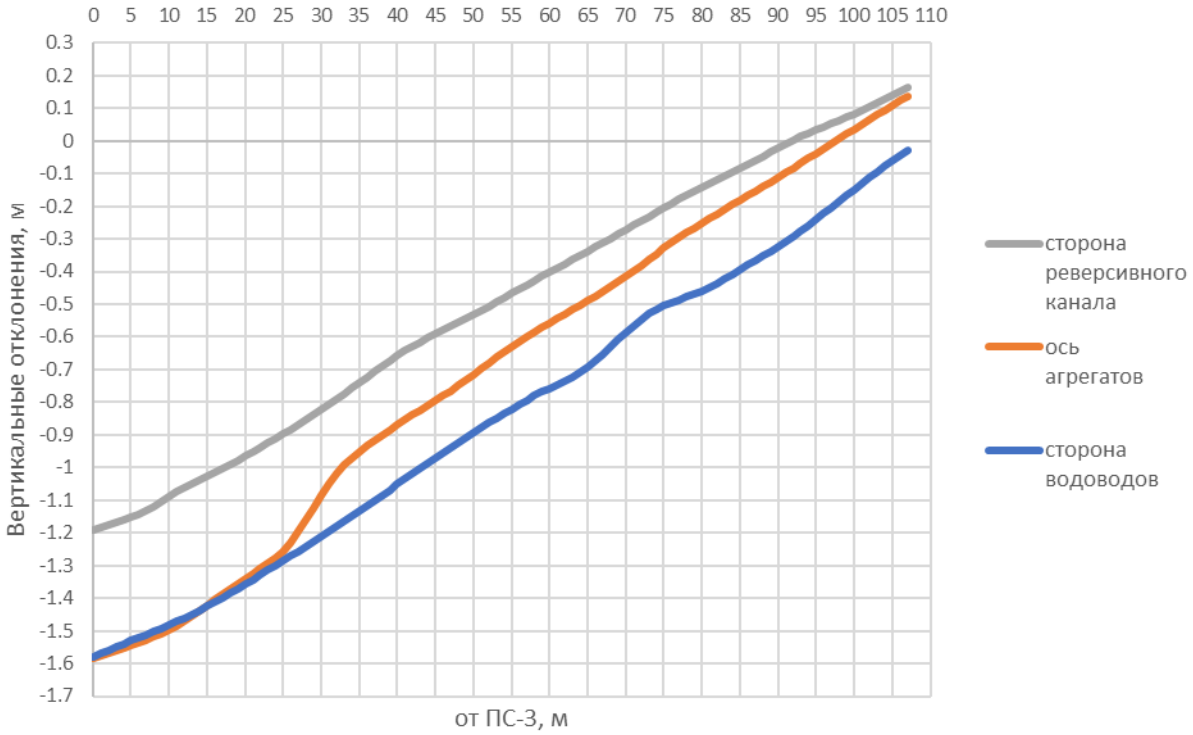


Рисунок 3.5.2. Вертикальные отклонения от проектного положения в сечениях вдоль оси агрегатов

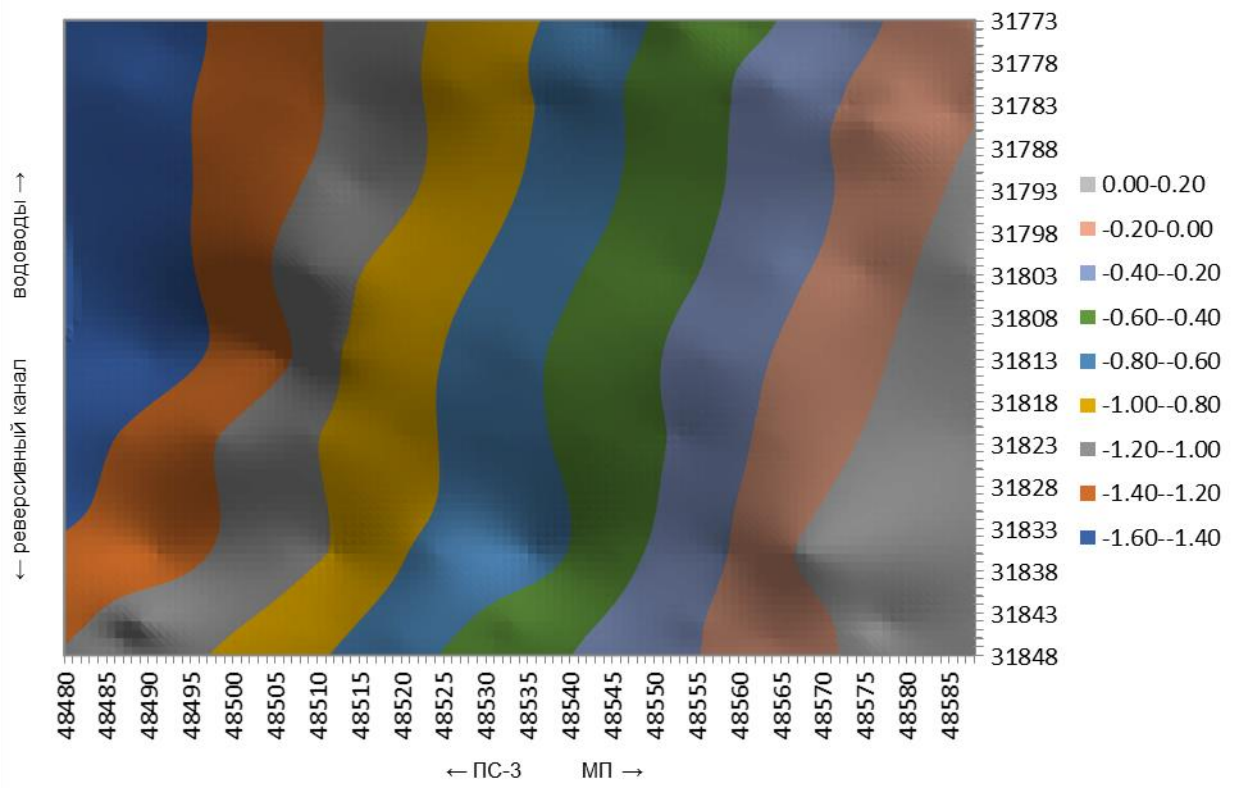


Рисунок 3.5.3. Изоповерхности вертикальных отклонений здания ГАЭС от проектного положения (плановое представление)

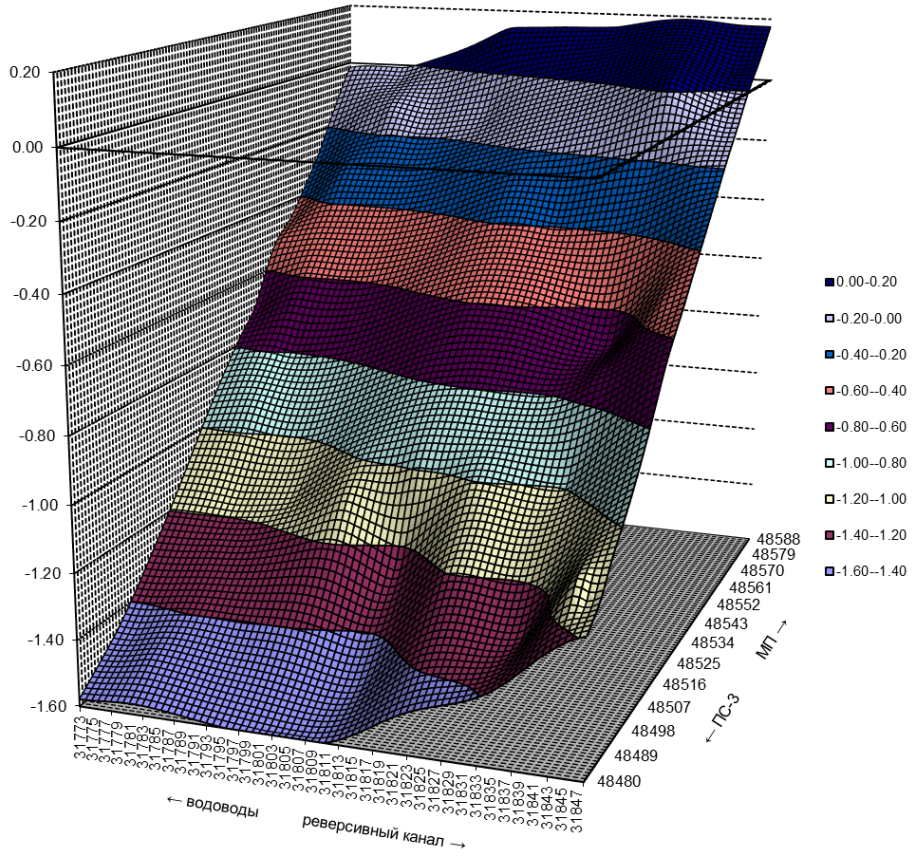


Рисунок 3.5.4. Изоповерхности вертикальных отклонений здания ГАЭС от проектного положения (пространственное представление)

3.6. Выравнивание здания ГАЭС

Восстановление здания Загорской ГАЭС-2 представляет собой комплекс работ по выравниванию высотного положения здания ГАЭС, т.е. устранению разности осадок в направлении вдоль и поперек потока, методом управляемого компенсационного нагнетания. Данный метод предусматривает выполнение работ в 2 этапа:

1-й этап – предварительная подготовка грунта посредствам заполнения пор и пустот высокопроницающим раствором (КН-1 или аналог) под низким давлением;

2-й этап – последующее компенсационное нагнетание инъекционного материала (КН-2 или аналог) с регулируемой вязкостью при проектном давлении и расходе.

Манжетные колонны устраиваются в криволинейных скважинах радиусом 140 м, выполненных методом горизонтально-направленного бурения. Звено манжетной колонны имеет длину 3,5 м и 7 манжет. По длине типовой скважины предусматривается 20 звеньев манжетной колонны, всего 70,0 м и 140 манжет.

Структура манжетного поля представлена на рисунках 3.6.1–3.6.3:

- по высоте скважины сгруппированы в ярусы, количество ярусов 8, нумерация от верхнего к нижнему;
- в плане в пределах каждого яруса скважины сгруппированы в ряды, на четных ярусах (№№ 8, 6, 4 и 2) по 46 скважин, на нечетных ярусах (№№ 7, 5, 3 и 1) по 45 скважин. Нумерация скважин в ряду принята начиная со стороны ПС-3 к монтажной площадке;
- нумерация манжет принята со стороны устья скважины в сторону забоя.

Скважины №№ 9-45 (9-46) каждого яруса типовые по 140 манжет, скважины №№ 1…8 каждого яруса имеют укороченный манжетный участок.

Выравнивание здания ГАЭС методом управляемого компенсационного нагнетания является уникальной строительной операцией, не имеющей прецедентов в мировой практике. С целью обеспечение сохранности здания ГАЭС на всех этапах работ по выравниванию проектом [2.19] предусмотрены научно-техническое сопровождение и технический мониторинг согласно п. 10.5 ГОСТ 27751-2014, мониторинг планово-высотного положения здания ГАЭС, наблюдение за раскрытием трещин и стыков.

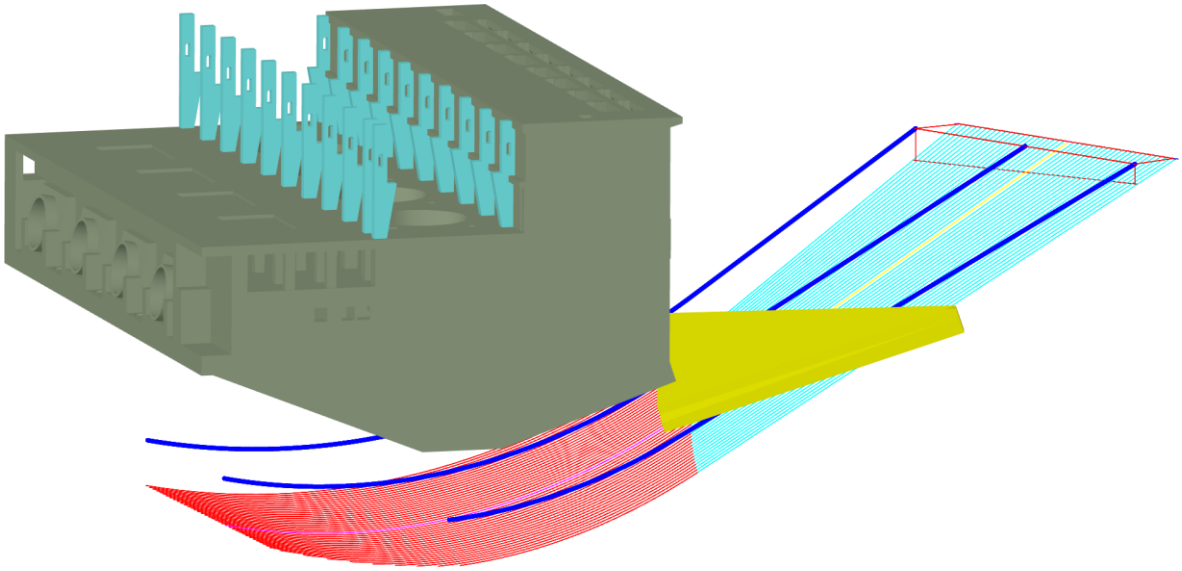


Рисунок 3.6.1. Пространственная компоновка зоны нагнетания и здания ГАЭС. Вид с юго-запада (со стороны водоводов и ПС-3). Схема скважин яруса 8 (нижнего): голубой – прямолинейные участки, красный – криволинейные участки

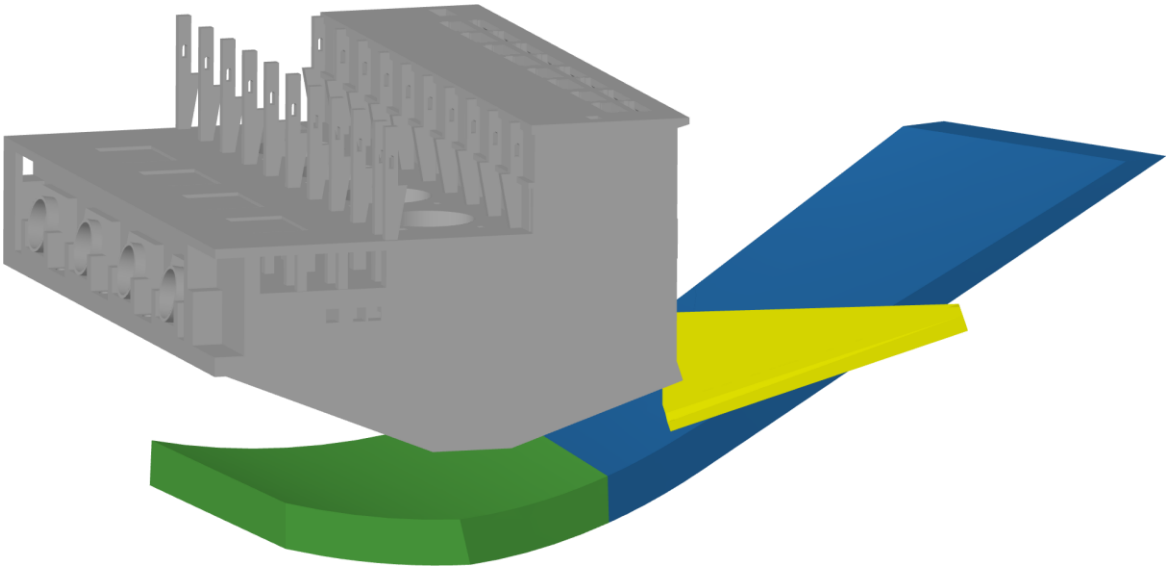


Рисунок 3.6.2. Пространственная компоновка зоны нагнетания и здания ГАЭС. Вид с юго-запада (со стороны водоводов и ПС-3). Объемная схема области размещения скважин ярусов с 8-го (нижнего) по 1-й (верхний): синий – область трассы скважин, зеленый – область осуществления инъекций компенсационного нагнетания

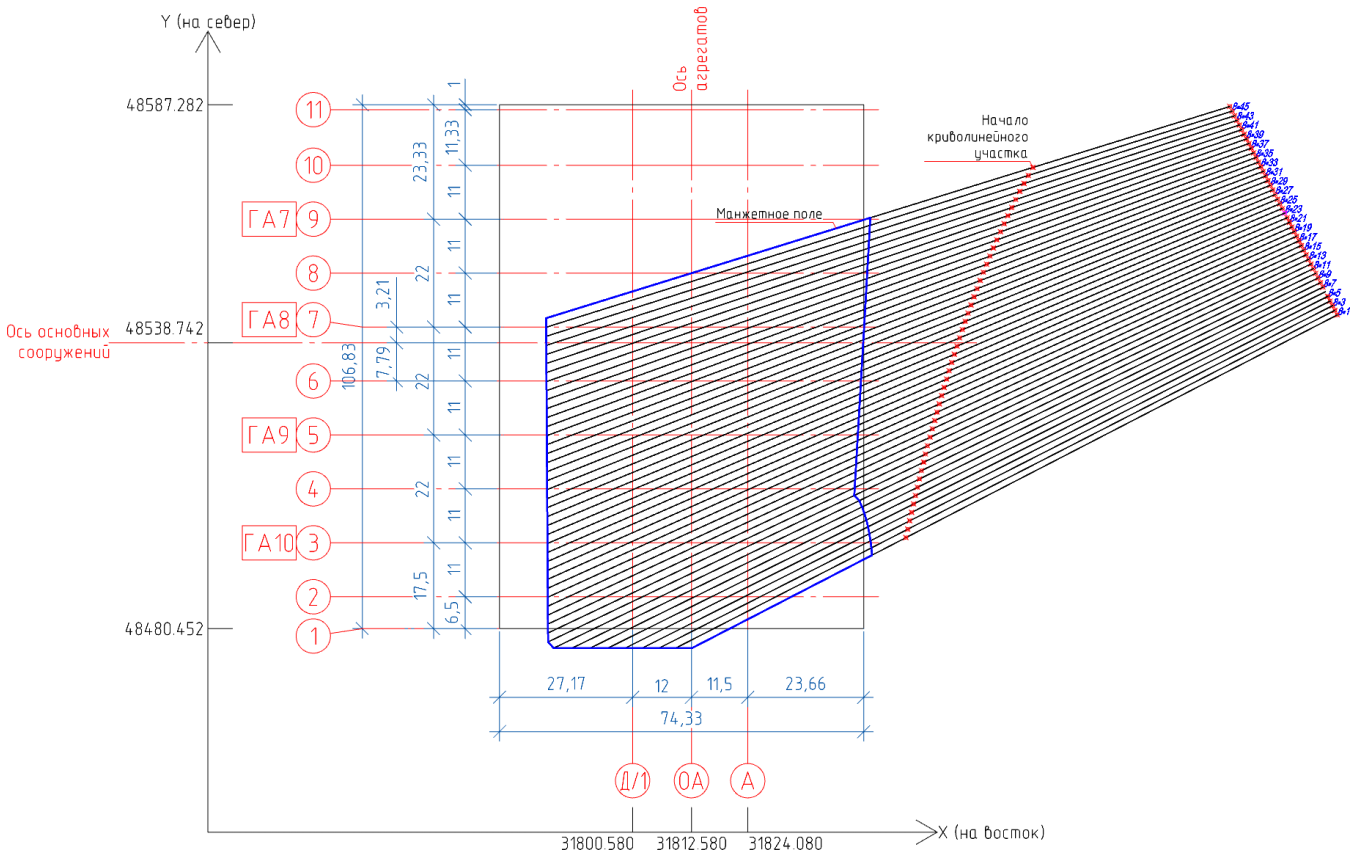


Рисунок 3.6.3. План манжетного поля

4. Основные результаты сопоставительного анализа распределения проектных и фактических объемов инъектирования за период с начала выполнения компенсационного нагнетания

Проектное распределение объемов инъектирования медленнотвердеющего компенсационного раствора принято по данным [2.19].

Фактическое распределение объемов инъектирования принято по данным, преданным Заказчиком в электронном виде в файлах формата Excel. К фактическим объемам применен поправочный коэффициент 0,88 на погрешность расходомеров.

На апрель 2023 года, соответствующий периоду проведения компенсационного нагнетания на ярусе 5 манжетных колонн, имеются ретроспективные данные о фактическом распределении объемов инъектирования по ярусам 8, 7 и 6. По организационным и технологическим причинам, ретроспективные данные о фактическом распределении накопленных объемов инъектирования по ярусу 5 ожидаются после завершения работ по ярусу. По этой причине фактическое распределение объемов инъектирования по ярусу 5 принято равным распределению по сменным заданиям.

Фактическое распределение, по сравнению с проектным, характеризуется поманжетной неравномерностью, которая объясняется особенностью регистрации фактических данных при различных технологиях компенсационного нагнетания.

На ярусе 8 нагнетание проводилось практически в каждую манжету с помощью двухстороннего пакера с характерным разовым объемом инъекции 125 л. В дальнейшем применялось также нагнетание в группы по 5 манжет с помощью одностороннего пакера с характерным разовым объемом инъекции 625 л на группу. При этом весь инъецированный объем учитывается в данных для одной манжеты, а для остальных манжет указывается нулевой объем. Вследствие смешанного характера инъектирования (одни и те же манжеты могут инъектироваться как индивидуально, так и в составе группы) однозначное разнесение объемов между манжетами не представляется возможным. Поэтому анализ распределения проектных и фактических объемов медленнотвердеющего компенсационного раствора по площади манжетного поля выполняется с использованием математических приемов сглаживания данных.

Сопоставление фактического распределения инъекционных объемов в сравнении с проектным решением выполнено по методике, разработанной в [2.20], которая предусматривает следующие методы сопоставления проектных и фактических объемов:

- поманеженное сопоставление;
- сопоставление с блочным сглаживанием при схеме деления фундаментной плиты 5×5 (характерный размер группы 252 манжеты: 9 скважин, по 28 манжет на каждой скважине, рис. 4.1);
- сопоставление с круговым сглаживанием с характерным радиусом сглаживания 2,5 м (соответствующем шагу в 5 манжет);
- сопоставление со сглаживанием по Гауссу (с таким же характерным радиусом).

Результаты сопоставления представляются в графической форме на рисунках, выполненных в псевдографическом стиле, представляющих собой матрицу ячеек, ориентированную по сторонам, где 45 или 46 строк соответствуют скважинам, 140 столбцов соответствует максимальному количеству манжет в скважине, цвет ячейки соответствует объему нагнетания согласно шкале.

Представляются следующие результаты сопоставления, полученные по каждому из вышеуказанных методов сопоставления:

- распределение проектных объемов инъектирования в литрах на манжету;
- распределение фактических объемов инъектирования в литрах на манжету (с учетом поправочного коэффициента на погрешность расходомеров);
- разность между фактическими и проектными объемами в литрах на манжету;
- относительная разность между фактическими и проектными объемами, вычисленная по формуле «факт / план – 1», %, относительная разность объемов вычисляется только для манжет, в которых инъектирование было предусмотрено проектом.

Скважины нечетного яруса в плане располагаются между скважинами четного яруса. Расчет суммарного распределения выполнен следующем образом: по половине объема от каждой манжеты нечетного яруса прибавлено к объемам двух манжет с этим же номером на смежных скважинах четных ярусов. Полученные данные сведены в таблицу размером 46 строк (по максимальному количеству скважин на четных ярусах) и 140 столбцов (по максимальному количеству манжет). Одноименные манжеты разные ярусов при рассмотрении суммарных результатов далее называются ячейками манжетного поля.

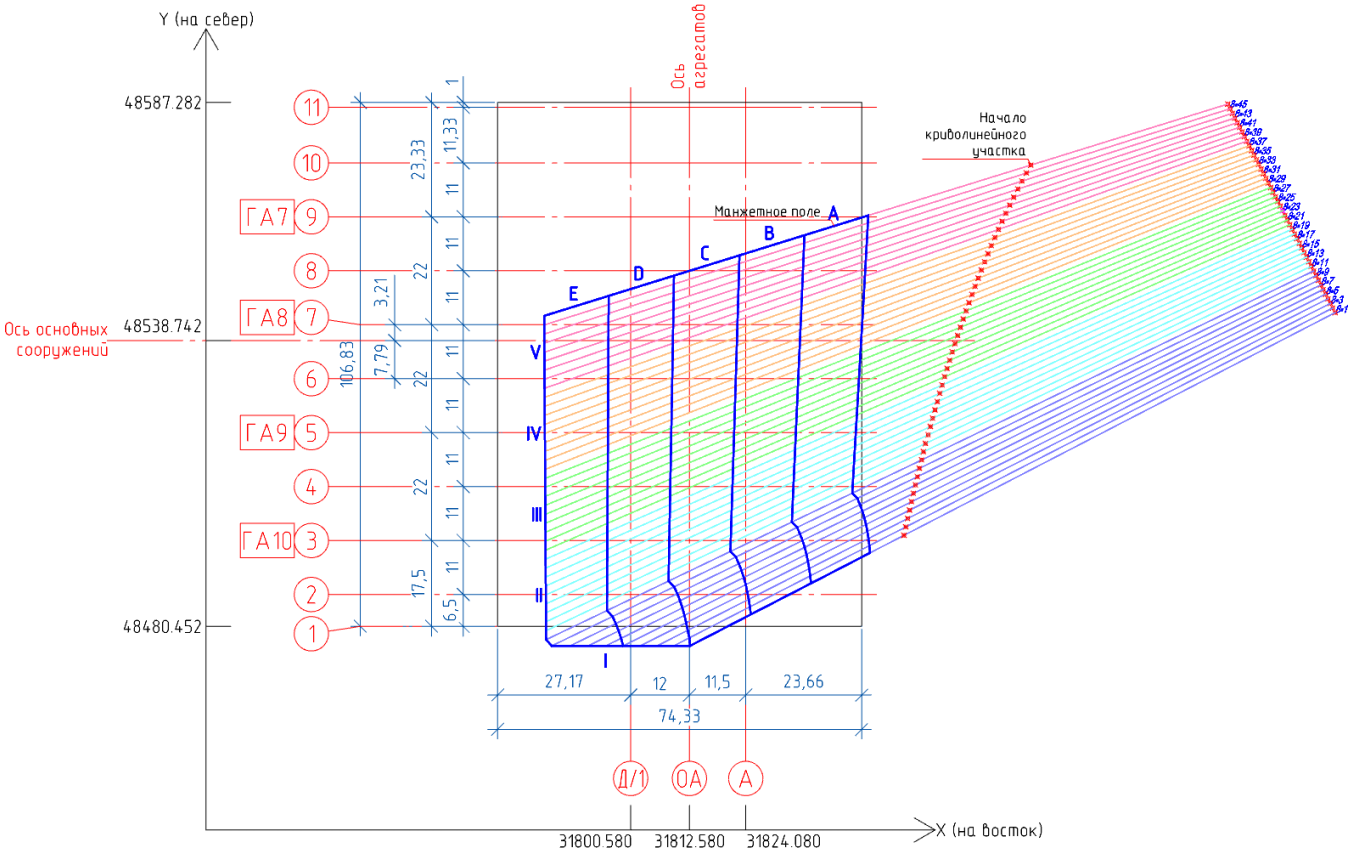


Рисунок 4.1. Схема зонирования манжетного поля для блочного сглаживания

Сопоставление фактического распределения инъекционных объемов в сравнении с проектным решением для ярусов 8 и 7, а также суммарно для ярусов 8+7, ранее выполнено в [2.20] и показали:

- при блочном сглаживании отклонения фактических объемов от проектных на ярусах 8, 7 и 8+7 составляют, соответственно до -226…+42, -190…+4, и -375…-27 литров на манжету (ячейку манжетного поля).
- при круговом сглаживании отклонения фактических объемов от проектных на ярусах 8, 7 и 8+7 составляют, соответственно до -175…+12, -214…+22, -317…+10 литров на манжету (ячейку манжетного поля).
- При сглаживании по Гауссу отклонения фактических объемов от проектных на ярусах 8, 7 и 8+7 составляют, соответственно, до -214…+60, -347…+70 и -540…+16 литров на манжету (ячейку манжетного поля).

Полученные результаты сопоставления для ярусов 6 и 8+7+6 представлены в приложениях В.1–В.2, соответственно. Анализ результатов показывает:

- при блочном сглаживании отклонения фактических объемов от проектных на ярусах 6 и 8+7+6 составляют, соответственно, -182…+311, -405…+214 литров манжету (ячейку манжетного поля).
- при круговом сглаживании отклонения фактических объемов от проектных на ярусах 6 и 8+7+6 составляют, соответственно до -175…+290, -469…+256 литров на манжету (ячейку манжетного поля).
- При сглаживании по Гауссу отклонения фактических объемов от проектных на ярусах 6 и 8+7+6 составляют, соответственно, до -354…+307, -894…+366 литров на манжету (ячейку манжетного поля).

Анализ накопленного распределение по сменным заданиям на апрель 2023 года по ярусу 5 представлен в приложении В.3.

Сводные данные по всем ярусам представлены в таблицах 4.1–4.6.

Анализ результатов компенсационного нагнетания за период с начала выполнения работ показывает, что по ряду объективных причин технологического характера фактическое распределение объёмов инъектирования существенно отличается от проектного. К указанным причинам, например, по ярусу 5 можно отметить выход из строя скважин 5-15, 5-16, 5-32, 5,45, а также невозможность добуривания до предусмотренным проектом [2.19] длины скважин 5-1…5-10.

Это вызывает необходимость корректировки в порядке научно-технического сопровождения проектного распределения объёмов инъектирования на предстоящих этапах работы с учетом результатов мониторинга подъема здания ГАЭС и накопленных инъекционных объемов на предыдущих этапах работы (что изначально предусматривалось указаниями к рабочей документации).

Таблица 4.1

Сопоставление проектных и фактических объемов инъектирования по ярусу 8

Показатели инъектирования	Максимальный объем на манжету, л	Суммарный объем на манжетном поле, л
План	584	2 160 989
Факт	620	1 789 346
Разность факт – план	36	-371 643
Относительная разность факт / план – 1	+6,2 %	-17,2 %

Таблица 4.2

Сопоставление проектных и фактических объемов инъектирования по ярусу 7

	Максимальный объем на манжету, л	Суммарный объем на манжетном поле, л
План	582	2 114 011
Факт	983	1 684 649
Разность факт – план	401	-429 362
Относительная разность факт / план – 1	+68,9 %	-20,3 %

Таблица 4.3

Сопоставление проектных и фактических объемов инъектирования по ярусам 7 и 8 (суммарно)

	Максимальный объем на манжету, л	Суммарный объем на манжетном поле, л
План	1 164	4 275 000
Факт	960	3 473 995
Разность факт – план	-204	-801 005
Относительная разность факт / план – 1	-17,5 %	-18,7 %

Таблица 4.4

Сопоставление проектных и фактических объемов инъектирования по ярусу 6

	Максимальный объем на манжету, л	Суммарный объем на манжетном поле, л
План	686	2 139 277
Факт	506	2 511 814
Разность факт – план	-180	372 537
Относительная разность факт / план – 1	-26,2 %	+17,4 %

Таблица 4.5

Сопоставление проектных и фактических объемов инъектирования по ярусам 8, 7 и 6 (суммарно)

	Максимальный объем на манжету, л	Суммарный объем на манжетном поле, л
План	1850	6 414 277
Факт	1332	5 985 809
Разность факт – план	-518	-428 468
Относительная разность факт / план – 1	-28,0 %	-6,7 %

Таблица 4.6

Сопоставление проектных объемов инъектирования с накопленным распределением по сменным заданиям на апрель 2023 года ярусу 5

	Максимальный объем на манжету, л	Суммарный объем на манжетном поле, л
План	684	2 092 771
Факт	2 331	4 119 276
Разность факт – план	+1647	2 026 505
Относительная разность факт / план – 1	+240,8 %	+96,8 %

5. Основные результаты мониторинга подъема здания ГАЭС в сравнении с расчетным прогнозом

Расчетно-теоретический контроль за подъёмом здания ГАЭС осуществляется с помощью цифрового двойника процесса компенсационного нагнетания, т.е. пространственной конечно-элементной модели в постановке «здание ГАЭС – основание», регулярно калибруемой по результатам натурных наблюдений и дополняемой новыми расчетными этапами по мере производства работ. В соответствии с форматом и объемом поступающих исходных данных, до лета 2022 года за один расчетный этап принимался один месяц компенсационного нагнетания независимо от инъектированного объёма, а в настоящее время за один расчётный этап принимается один комплект сменных заданий (рисунок 5.1, таблица 5.1). При этом технология производства работ по компенсационному нагнетанию не позволяет отслеживать результаты каждого сменного задания, поскольку начиная с декабря 2022 года сменные задания берутся в производстве работ параллельно.

Мониторинг подъема здания ГАЭС осуществляется с помощью роботизированных тахеометров начиная с июля 2021 года (рисунок 5.2) и с помощью системы гидростатического нивелирования начиная с апреля 2022 года (рисунок 5.3). На 01.04.2023 подъём по характерной марке МТ62 на здании ГАЭС со стороны ППТУ-4 достиг 220 мм.

В настоящее время на начало апреля 2023 года интенсивность подъема здания станции Загорской ГАЭС-2 имеет положительную динамику, как видно на рисунках 5.3 и 5.4, что является результатом оптимизации последовательности и распределения объемов нагнетания. Отмечается хорошая сходимость результатов расчетов на цифровом двойнике с результатами мониторинга, как видно на рисунке 5.5.

Осредненная эффективность компенсационного нагнетания (в расчете на подъем по марке МТ62) за период с начала мониторинга (с июля 2021 года) составляет 27 мм/1000 м3. Этот же показатель в I квартале 2023 года составляет 41 мм/1000 м3, что подтверждает положительную динамику подъема.

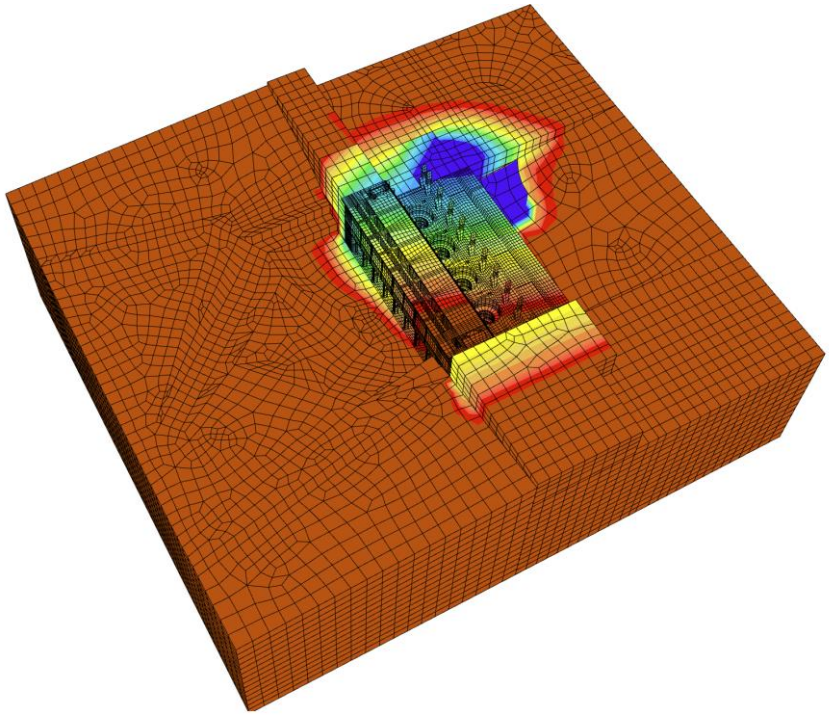


Рисунок 5.1. МКЭ модель процесса компенсационного нагнетания в ПВК ZSoil

Таблица 5.1 – Сводные данные по компенсационному нагнетанию

№	Этапы	Ярусы	Объем по заданию, л	Накопленный объем по заданиям, м3	Накопленный объем фактический м3	Подъем-факт МТ62	Эффективность-факт, мм/1000 м3
-	Строительство и просадка	-	-	0	0		
11	2021-02-01	[7, 8]	13 650	14	14		
12	2021-03-01	[8]	99 598	113	113		
13	2021-04-01	[8]	237 171	350	350		
14	2021-05-01	[8]	475 592	826	826		
15	2021-06-01	[8]	443 946	1 270	1 270		
16	2021-07-01	[7, 8]	392 761	1 663	1 663	6.9	18
17	2021-08-01	[7, 8]	609 209	2 272	2 272	15.2	14
18	2021-09-01	[7, 8]	723 333	2 995	2 995	30.0	20
19	2021-10-01	[7, 8]	563 413	3 559	3 559	51.0	37
20	2021-11-01	[7, 8]	288 078	3 847	3 847	59.0	28
21	2021-12-01	[7]	22 174	3 869	3 869	55.0	0
22	2022-03-01	[6]	635 967	4 505	4 505	66.0	17
23	2022-04-01	[6]	627 460	5 132	5 132	63.0	0
24	2022-05-01	[6]	814 518	5 947	5 947	87.0	29
25	2022-06-01	[6]	585 815	6 533	6 533	106.0	32
26	Н3-ПЭ1	[5]	157 058	6 690	6 613	112.0	74
27	Н3-ПЭ2	[5]	142 439	6 832	6 706	112.0	0
28	Н3-ПЭ3	[5]	146 278	6 978	6 809	115.0	29
29	Н3-ПЭ4	[5]	127 865	7 106	6 934	119.0	32
30	Н4-ПЭ1	[5]	164 353	7 271	7 095	113.0	0
31	Н4-ПЭ2	[5]	169 961	7 441	7 246	122.0	60
32	Н4-ПЭ3	[5]	125 209	7 566	7 352	129.0	66
33	Н4-ПЭ4	[5]	130 380	7 696			
34	Н5-ПЭ1	[5]	125 209	7 821			
35	Н5-ПЭ2	[5]	157 306	7 979			
36	Н5-ПЭ3	[5]	183 563	8 162			
37	Н5-ПЭ4	[5]	188 475	8 351			
38	Н6-ПЭ1	[5]	248 901	8 600			
39	Н6-ПЭ2	[5]	254 822	8 855			
40	Н6-ПЭ3	[5]	267 551	9 122			
41	Н6-ПЭ4	[5]	273 574	9 396			
42	Н7-ПЭ1	[5]	267 551	9 663			
43	Н7-ПЭ2	[5]	273 574	9 937			
44	Н7-ПЭ3	[5]	239 123	10 176	9 584	220.0	41

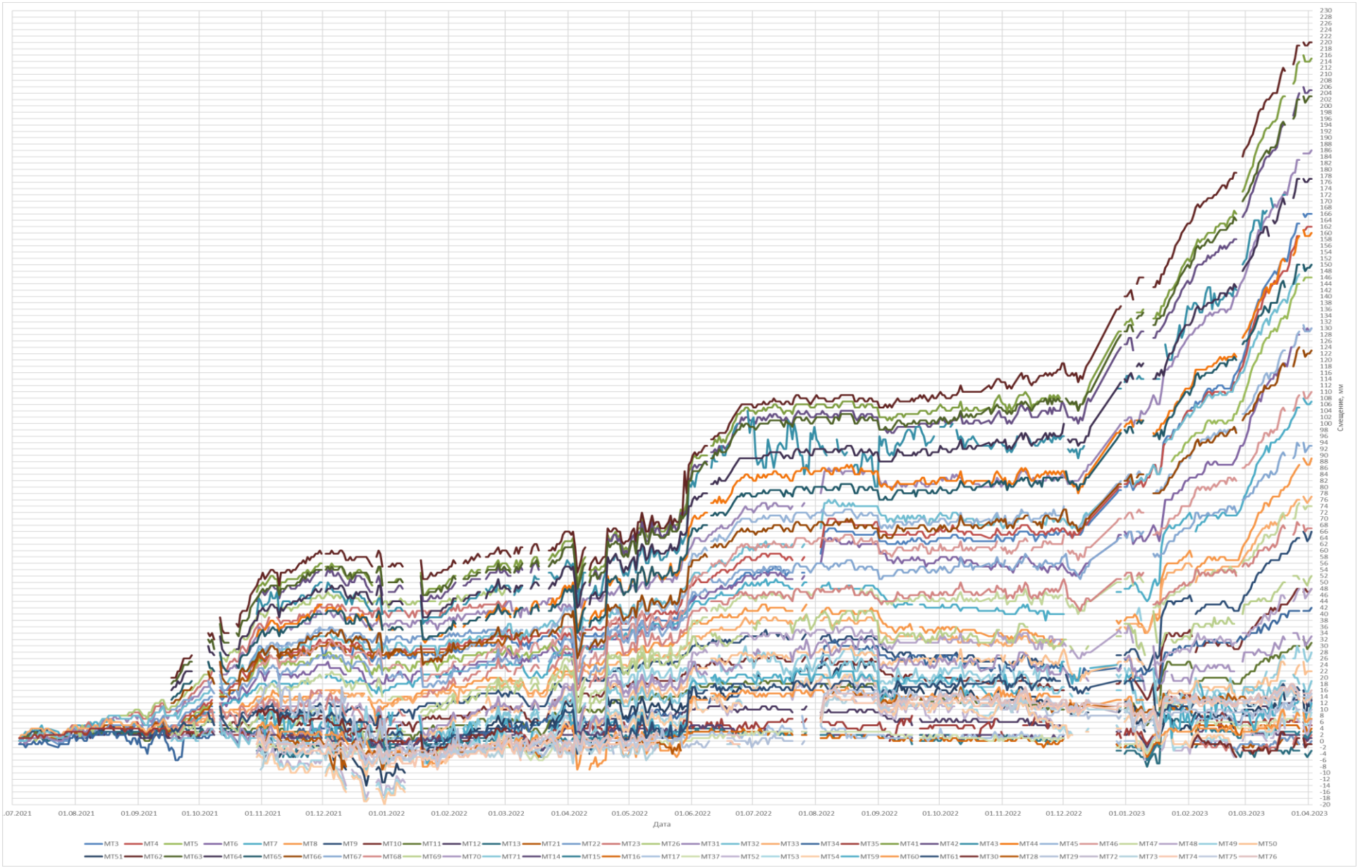


Рисунок 5.2. Результаты нивелирования с помощью роботизированных тахеометров [данные мониторинга Института Гидропроект]

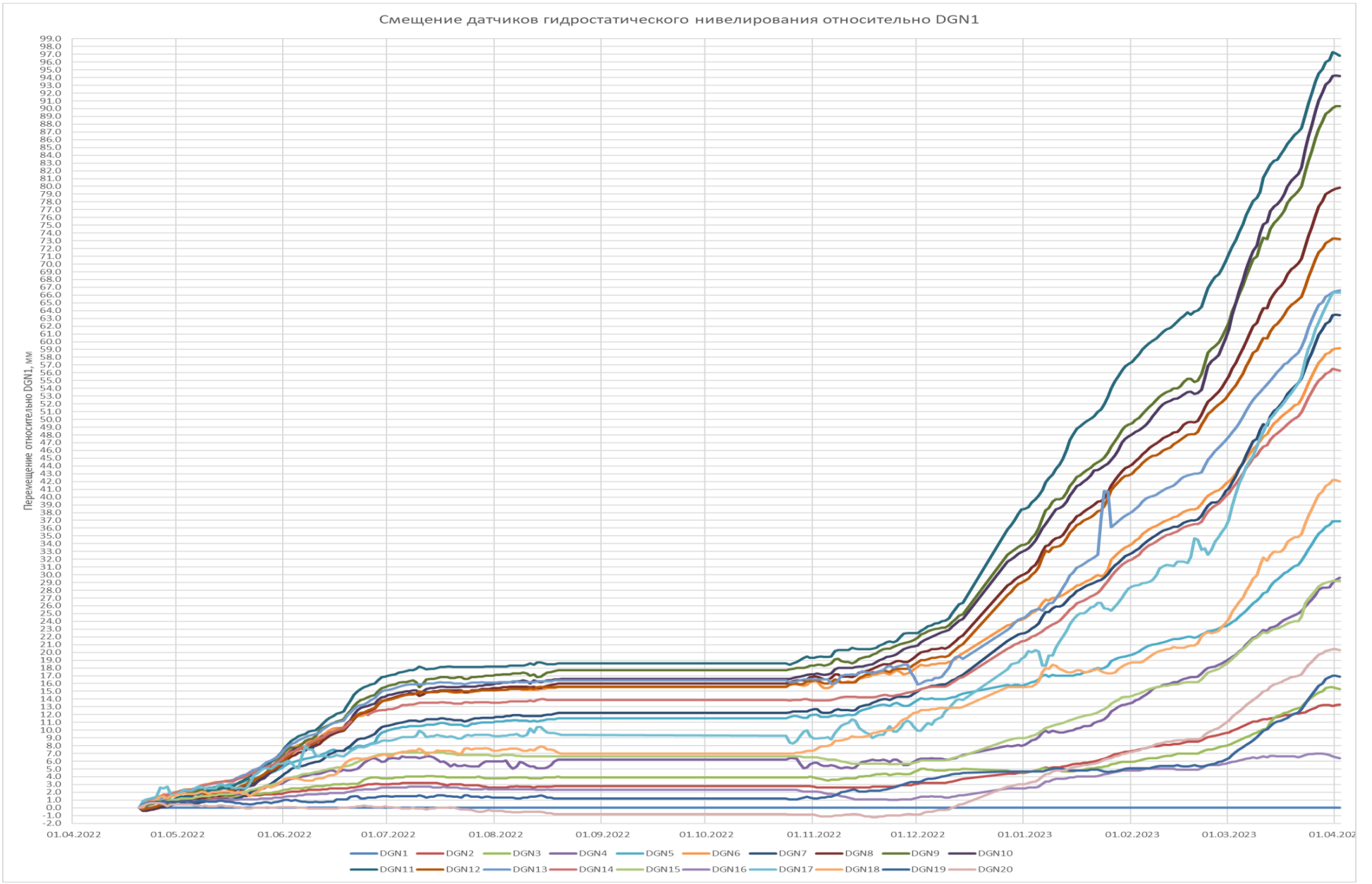


Рисунок 5.3. Результаты гидростатического нивелирования [данные мониторинга Института Гидропроект]

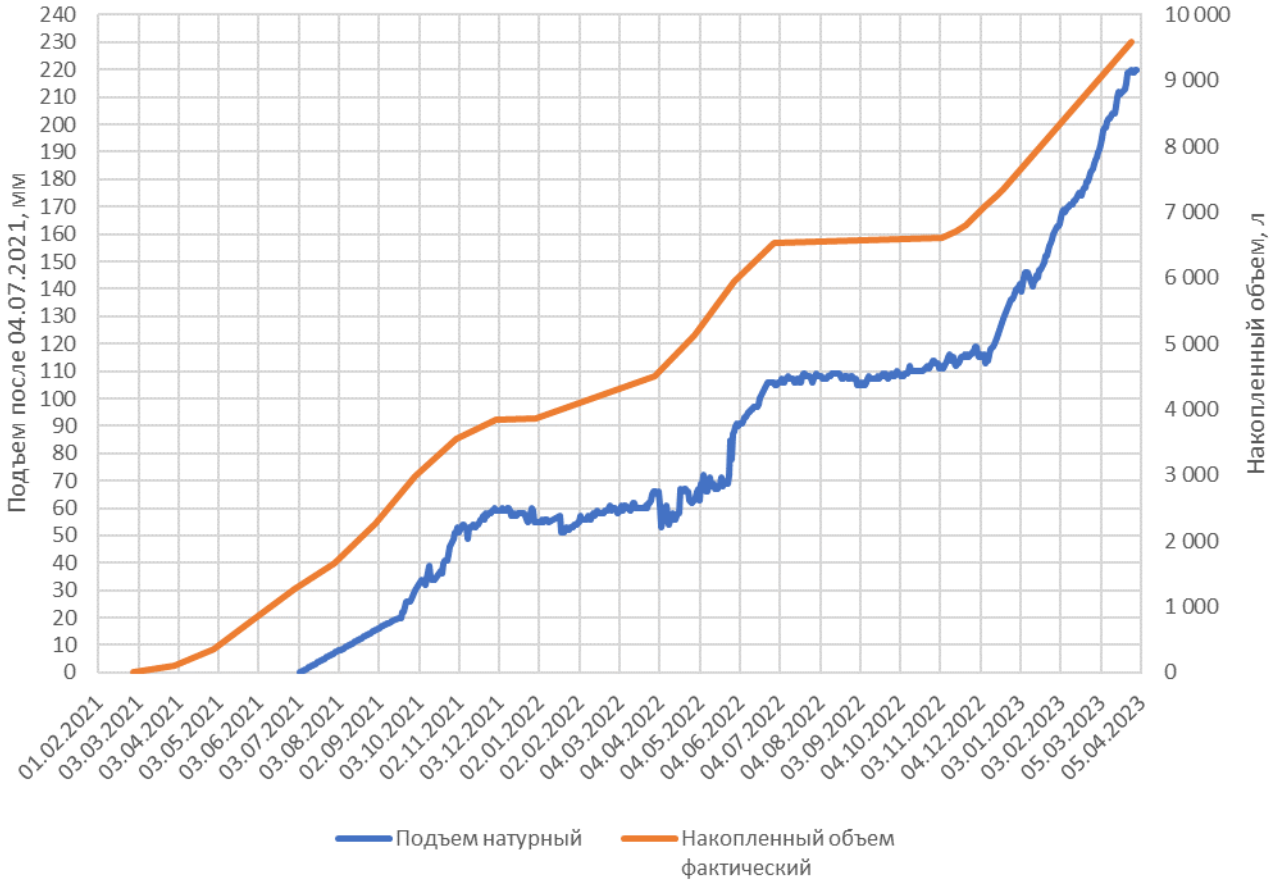


Рисунок 5.4. График подъема здания станции ЗаГАЭС-2 во времени.

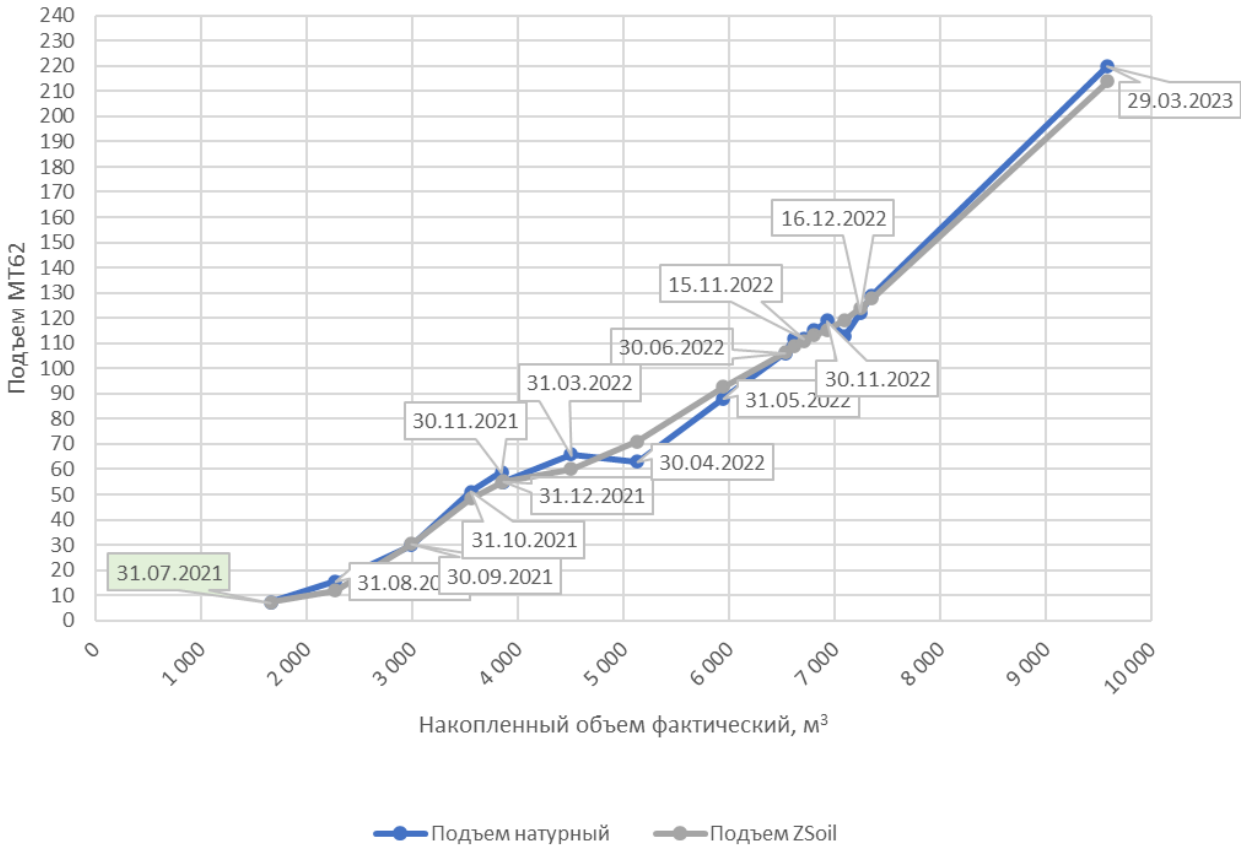


Рисунок 5.5. График подъема здания станции ЗаГАЭС-2
в зависимости от суммарного объема нагнетания

6. Оптимизация распределения объемов компенсационного раствора по ярусу 5 манжетного поле

6.1. Методика оптимизации распределения объемов компенсационного раствора на основе математического моделирования методом конечных элементов с использованием теории планирования эксперимента

Оптимизация распределения объемов компенсационного раствора выполнена на основе сопоставительного исследования множества сценарных вариантов распределения компенсационного раствора методом активного вычислительного эксперимента по теории планирования эксперимента. Расчеты выполняются методом конечных элементов на трехмерной модели компенсационного нагнетания в ПВК ZSoil, которая откалибрована по результатам мониторинга.

В качестве отклика по теории планирования эксперимента принята величина подъема здания ГАЭС со стороны ППТУ-4 по марке МТ-62. В качестве варьируемых факторов – расходы инъекционного раствора в характерных точках манжетного поля. В качестве плана эксперимента принят план второго порядка Бокса-Бенкена в связи с тем, что зависимость вертикальных перемещений от параметров компенсационного нагнетания поддается описанию полином второго порядка.

$$\varphi(\overline{x}) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{n} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \beta_{ij} x_i x_j \ ,$$

где x – варьируемые факторы, β_0, β_i, β_{ii} и β_{ij} – неизвестные коэффициенты регрессии,

В рамках плана второго порядка каждый фактор варьируется на трех уровнях.

Суть применения теории планирования эксперимента заключается в следующем:

- вместо перебора возможных сочетаний варьируемых факторов (например, при трех уровнях варьирования девяти факторов имеем 3^9 = 19683 сочетания) используется специальный план эксперимента, который позволяет путём обобщения относительно небольшого числа опытов получить функцию отклика для прогнозирования подъема здания ГАЭС при произвольном сочетании варьируемых факторов
- далее путем математического анализа функции отклика методом градиентного спуска прогнозируется ранее неизвестное сочетание промежуточных уровней варьирования факторов, при котором подъем здания ГАЭС максимален.

Для расчетов факторы кодируются по формуле:

$$x_к = \frac{x_н - x_0}{I}$$

где $x_к$ – кодированное значение фактора,

$x_н$ – натуральное значение фактора

$x0 = (x_{max} + x_{min}) / 2$ – средний уровень фактора,

$I = (x_{max} – x_{min}) / 2$ – интервал варьирования,

x_{max} и x_{min} – максимум и минимум натуральных значений фактора.

6.2. Оптимизационные расчеты на основе проектного распределения объемов компенсационного раствора

Для проведения оптимизационных расчетов разработан следующий алгоритм параметрического описания распределения объемов компенсационного раствора по площади манжетного поля.

1. Зона распределения в плане принята в соответствии с рабочей документаций.
2. Выбраны 9 манжет *X1…X9*, как видно на рисунке 6.2.1, объемы компенсационного раствора в этих манжетов приняты в качестве варьируемых параметров
3. Расходы в промежуточных манжетах вычислены по сплайновой интерполяции второго порядка.

Для проведения эксперимента по плану Бокса-Бенкена при 9 варьируемых факторах на 3 уровнях необходимо 145 уникальных численных опытов, как показано в таблице 6.2.1.

На первом этапе за средний уровень варьирования принят проектный расход в манжетах *X1…X9*, а интервал варьирования для всех факторов назначен равным 30 % от среднего расхода. Полученное факторное пространство представлено в таблице 6.2.2, схема распределения представлена на рисунке 6.2.1, расчётные распределения представлены в приложении Г.1.

Заметим, что результаты расчёта для среднего уровня варьирования всех факторов не эквивалентны проектным расчетам [2.19], потому что в рамках настоящей работы расчеты выполняется на откалиброванной МКЭ-модели по результатам мониторинга за весь предшествующей период по I квартал 2023 года.

Расчеты показали, что зона оптимума находится за пределами первоначально принятого базового факторного пространства (оптимальные значения большинства факторов совпадают с границей факторного пространства). Поэтому выполнен следующей этап численного эксперимента по расширению факторного пространства путем пристыковки к базовому пространству нового в направлении ожидаемого оптимума. При этом интервалы варьирования в дополнительном факторном пространстве ограничены исходя из экспертных геотехнических соображений (увеличение объема компенсационного раствора до 3 раз, а снижение объема компенсационного раствора до 4 раз по сравнению с проектом).

Полученное факторное пространство представлено в таблице 6.2.3, схема распределения представлена на рисунке 6.2.2, расчётные распределения представлены в приложении Г.2.

Результаты расчетов по всем вариантам плана эксперимента представлены на рисунке 6.2.3.

Методом математического анализа функции отклика определена оптимальное сочетания варьируемых факторов и разработано оптимизированное распределение, представленное на рисунке 6.2.4.

В результате проведения вычислительного эксперимента обоснована возможность повышения эффективности компенсационного нагнетания на 6-12 % по сравнению с проектным решением (см. варианты ТПЭ-1 и ТПЭ-2 на рисунке 6.2.3).

Таблица 6.2.1 –План эксперимента Бокса-Бенкена для 9 факторов на 3 уровня варьирования

Номера экспериментов	Кодированные уровни значений варьируемых факторов								
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	-1	0	0	0	0	0	0	0
3	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	0	0	0	0	0	0	0
5	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0
6	1	0	-1	0	0	0	0	0	0
7	-1	0	1	0	0	0	0	0	0
8	1	0	1	0	0	0	0	0	0
9	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0
10	1	0	0	-1	0	0	0	0	0
11	-1	0	0	1	0	0	0	0	0
12	1	0	0	1	0	0	0	0	0
13	-1	0	0	0	-1	0	0	0	0
14	1	0	0	0	-1	0	0	0	0
15	-1	0	0	0	1	0	0	0	0
16	1	0	0	0	1	0	0	0	0
17	-1	0	0	0	0	-1	0	0	0
18	1	0	0	0	0	-1	0	0	0
19	-1	0	0	0	0	1	0	0	0
20	1	0	0	0	0	1	0	0	0
21	-1	0	0	0	0	0	-1	0	0
22	1	0	0	0	0	0	-1	0	0
23	-1	0	0	0	0	0	1	0	0
24	1	0	0	0	0	0	1	0	0
25	-1	0	0	0	0	0	0	-1	0
26	1	0	0	0	0	0	0	-1	0
27	-1	0	0	0	0	0	0	1	0
28	1	0	0	0	0	0	0	1	0
29	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1
30	1	0	0	0	0	0	0	0	-1
31	-1	0	0	0	0	0	0	0	1
32	1	0	0	0	0	0	0	0	1
33	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0
34	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
35	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
36	0	1	1	0	0	0	0	0	0
37	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0
38	0	1	0	-1	0	0	0	0	0
39	0	-1	0	1	0	0	0	0	0
40	0	1	0	1	0	0	0	0	0
41	0	-1	0	0	-1	0	0	0	0
42	0	1	0	0	-1	0	0	0	0
43	0	-1	0	0	1	0	0	0	0
44	0	1	0	0	1	0	0	0	0
45	0	-1	0	0	0	-1	0	0	0
46	0	1	0	0	0	-1	0	0	0

Номера экспериментов	Кодированные уровни значений варьируемых факторов								
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
47	0	-1	0	0	0	1	0	0	0
48	0	1	0	0	0	1	0	0	0
49	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0
50	0	1	0	0	0	0	-1	0	0
51	0	-1	0	0	0	0	1	0	0
52	0	1	0	0	0	0	1	0	0
53	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0
54	0	1	0	0	0	0	0	-1	0
55	0	-1	0	0	0	0	0	1	0
56	0	1	0	0	0	0	0	1	0
57	0	-1	0	0	0	0	0	0	-1
58	0	1	0	0	0	0	0	0	-1
59	0	-1	0	0	0	0	0	0	1
60	0	1	0	0	0	0	0	0	1
61	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0
62	0	0	1	-1	0	0	0	0	0
63	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
64	0	0	1	1	0	0	0	0	0
65	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0
66	0	0	1	0	-1	0	0	0	0
67	0	0	-1	0	1	0	0	0	0
68	0	0	1	0	1	0	0	0	0
69	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0
70	0	0	1	0	0	-1	0	0	0
71	0	0	-1	0	0	1	0	0	0
72	0	0	1	0	0	1	0	0	0
73	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0
74	0	0	1	0	0	0	-1	0	0
75	0	0	-1	0	0	0	1	0	0
76	0	0	1	0	0	0	1	0	0
77	0	0	-1	0	0	0	0	-1	0
78	0	0	1	0	0	0	0	-1	0
79	0	0	-1	0	0	0	0	1	0
80	0	0	1	0	0	0	0	1	0
81	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1
82	0	0	1	0	0	0	0	0	-1
83	0	0	-1	0	0	0	0	0	1
84	0	0	1	0	0	0	0	0	1
85	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0
86	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
87	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
88	0	0	0	1	1	0	0	0	0
89	0	0	0	-1	0	-1	0	0	0
90	0	0	0	1	0	-1	0	0	0
91	0	0	0	-1	0	1	0	0	0
92	0	0	0	1	0	1	0	0	0
93	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0

Номера экспериментов	Кодированные уровни значений варьируемых факторов								
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
94	0	0	0	1	0	0	-1	0	0
95	0	0	0	-1	0	0	1	0	0
96	0	0	0	1	0	0	1	0	0
97	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0
98	0	0	0	1	0	0	0	-1	0
99	0	0	0	-1	0	0	0	1	0
100	0	0	0	1	0	0	0	1	0
101	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1
102	0	0	0	1	0	0	0	0	-1
103	0	0	0	-1	0	0	0	0	1
104	0	0	0	1	0	0	0	0	1
105	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0
106	0	0	0	0	1	-1	0	0	0
107	0	0	0	0	-1	1	0	0	0
108	0	0	0	0	1	1	0	0	0
109	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0
110	0	0	0	0	1	0	-1	0	0
111	0	0	0	0	-1	0	1	0	0
112	0	0	0	0	1	0	1	0	0
113	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0
114	0	0	0	0	1	0	0	-1	0
115	0	0	0	0	-1	0	0	1	0
116	0	0	0	0	1	0	0	1	0
117	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1
118	0	0	0	0	1	0	0	0	-1
119	0	0	0	0	-1	0	0	0	1
120	0	0	0	0	1	0	0	0	1
121	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
122	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
123	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
124	0	0	0	0	0	1	1	0	0
125	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0
126	0	0	0	0	0	1	0	-1	0
127	0	0	0	0	0	-1	0	1	0
128	0	0	0	0	0	1	0	1	0
129	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1
130	0	0	0	0	0	1	0	0	-1
131	0	0	0	0	0	-1	0	0	1
132	0	0	0	0	0	1	0	0	1
133	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0
134	0	0	0	0	0	0	1	-1	0
135	0	0	0	0	0	0	-1	1	0
136	0	0	0	0	0	0	1	1	0
137	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1
138	0	0	0	0	0	0	1	0	-1
139	0	0	0	0	0	0	-1	0	1
140	0	0	0	0	0	0	1	0	1

Номера экспериментов	Кодированные уровни значений варьируемых факторов								
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
141	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1
142	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
143	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
144	0	0	0	0	0	0	0	1	1
145	0	0	0	0	0	0	0	0	0
146	0	0	0	0	0	0	0	0	0
147	0	0	0	0	0	0	0	0	0
148	0	0	0	0	0	0	0	0	0
149	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0
151	0	0	0	0	0	0	0	0	0
152	0	0	0	0	0	0	0	0	0
153	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 6.2.2 - Базовое факторное пространство

Код	Коэффициенты к натуральным уровням расходов (л/манжету)								
	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-1	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

Таблица 6.2.3 – Дополнительном факторное пространство (пристыковано к базовому)

Код	Коэффициенты к натуральным уровням расходов (л/манжету)								
	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
1	2.5	2.75	3	**0.7**	2.75	2	**0.7**	**0.7**	**1**
0	1.9	2.025	2.15	0.475	2.025	1.65	0.475	0.475	0.625
-1	**1.3**	**1.3**	**1.3**	0.25	**1.3**	**1.3**	0.25	0.25	0.25

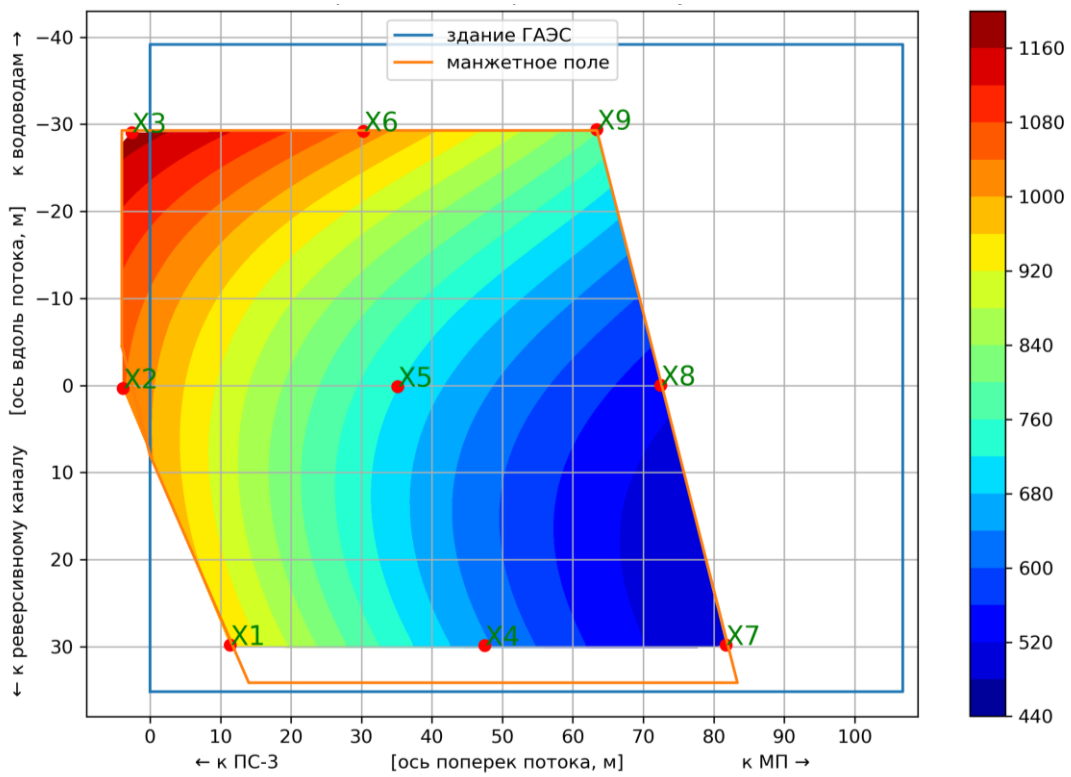


Рисунок 6.2.1. Схема распределения компенсационного нагнетания. Средний уровень базового факторного пространства

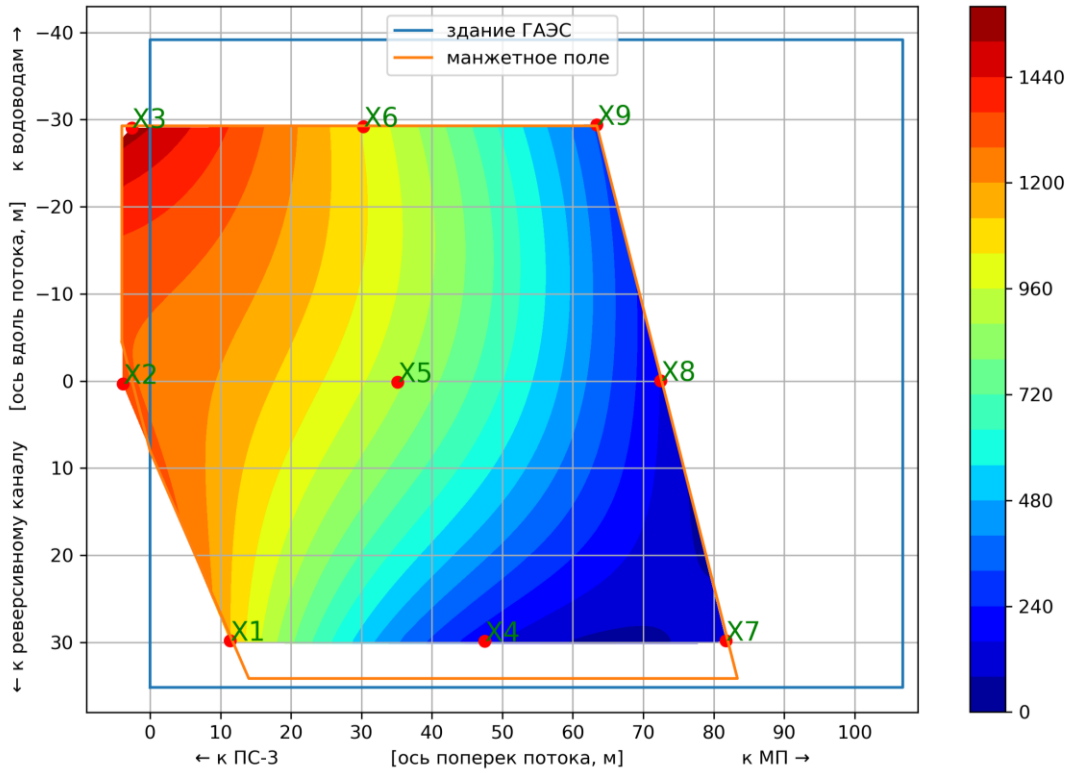


Рисунок 6.2.2. Схема распределения компенсационного нагнетания. Средний уровень дополнительного факторного пространства

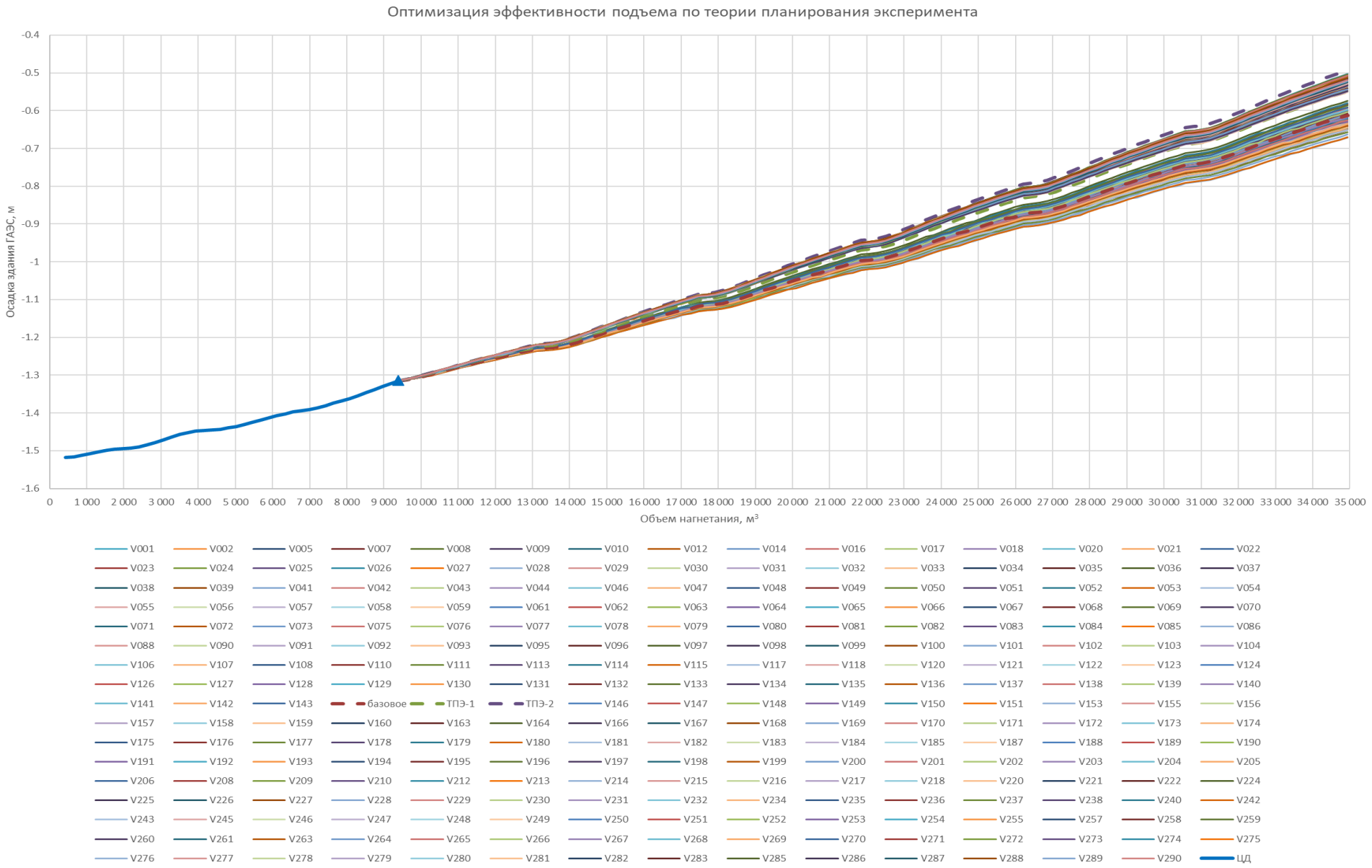


Рисунок 6.2.3. Результаты оптимизации по теории планирования эксперимента (расчетные графики подъема в сопоставлении с фактическим ходом реализации проекта и базовым проектным сценарием с поправкой на текущую эффективность)

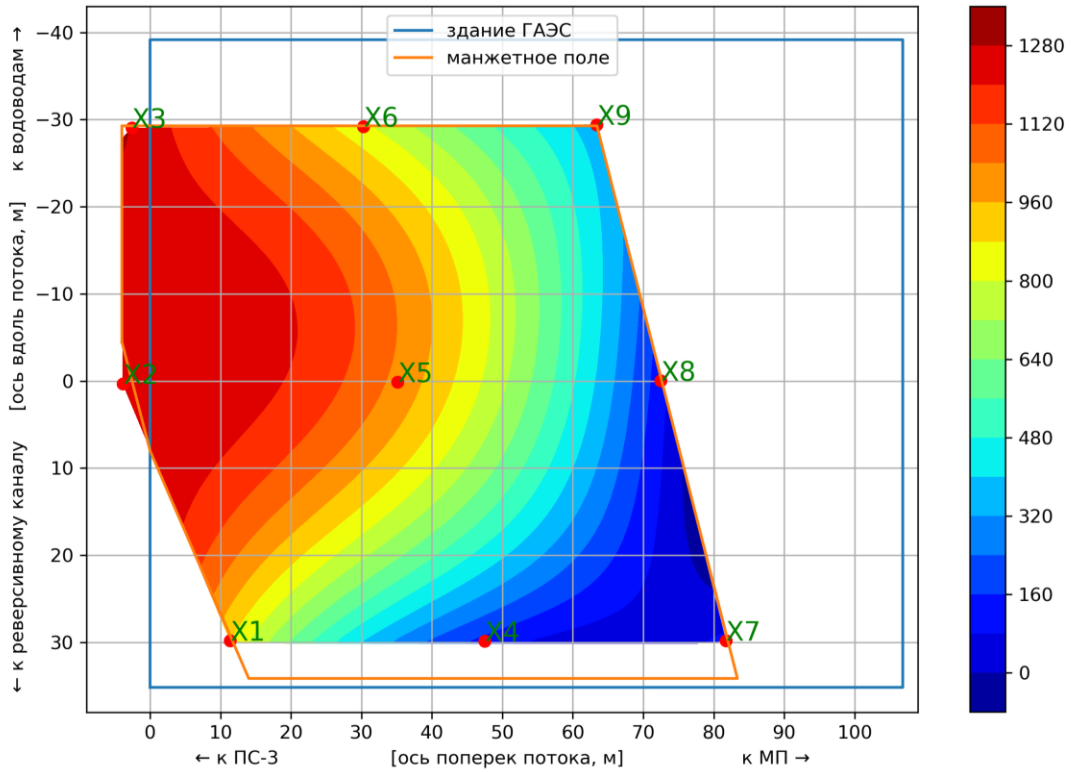


Рисунок 6.2.4. Оптимизированная схема распределения компенсационного нагнетания

6.3. Оптимизационные расчеты на основе холмообразного распределения объемов компенсационного раствора

Оптимизационные расчеты холмообразного распределения объемов компенсационного раствора выполнены за два этапа. На первом этапе определена оптимальная конфигурация холмообразного распределения. На втором этапе определено оптимальное смещение холма в плане.

Для проведения оптимизационных расчетов разработан следующий алгоритм параметрического описания холмообразного распределения объемов компенсационного раствора по площади манжетного поля.

1. Зона распределения в плане принята в соответствии с рабочей документаций.
2. Выбраны 5 манжет *X1…X5*, как видно на рисунке 6.3.1, объемы компенсационного раствора в этих манжетах приняты в качестве варьируемых параметров, причем объем в манжете X1 больше, чем в остальных, что образует холмообразное распределение
3. Расходы в промежуточных манжетах вычислены по сплайновой интерполяции второго порядка, причем расходы по границе манжетного поля приняты не менее чем 70 литров на манжету.

На первом этапе для исследования формы холмообразного распределения значение фактора X1 принято 340±60, а остальных факторов X1…X4 принято 120±80 литров на манжету. Для проведения эксперимента по плану Бокса-Бенкена при 9 варьируемых факторах на 3 уровнях необходим 41 уникальный численный опыт, как показано в таблице 6.3.1. Полученное факторное пространство представлено в таблице 6.3.2, схема распределения представлена на рисунке 6.3.1, расчётные распределения представлены в приложении Г.3.

На втором этапе для исследования влияния смещения холмообразного распределения в плане в качестве варьируемых факторов принято смещение положения контрольных точек X1…X5 в вертикальном (вдоль потока) и горизонтальном (поперек потока) направлении, т.е. вместо одних манжет выбирались другие в новом положении. При этом смещение центральной контрольной точки принято на 15 м, а остальных контрольных точек на 7.5 м. Таким образом проводится варьирование двух факторов (смещение по вертикали и горизонтали) на трех уровнях, для чего необходим полный факторный эксперимент согласно плану в таблице 6.3.3. Полученное факторное пространство представлено в таблице 6.3.4, схема распределения представлена на рисунке 6.3.2, расчётные распределения представлены в приложении Г.4.

Результаты расчетов по всем вариантам плана эксперимента представлены на рисунке 6.3.3.

Методом математического анализа функции отклика определена оптимальное сочетания варьируемых факторов и разработано оптимизированное распределение, представленное на рисунке 6.3.4.

В результате проведения вычислительного эксперимента обоснована возможность повышения эффективности компенсационного нагнетания холмообразного типа на 15 % по сравнению с проектным решением (см. варианты ТПЭ на рисунке 6.3.3).

Таблица 6.3.1 –План эксперимента Бокса-Бенкена для 5 факторов на 3 уровня варьирования

Номера экспериментов	Кодированные уровни значений варьируемых факторов				
	X1	X2	X3	X4	X5
1	-1	-1	0	0	0
2	1	-1	0	0	0
3	-1	1	0	0	0
4	1	1	0	0	0
5	-1	0	-1	0	0
6	1	0	-1	0	0
7	-1	0	1	0	0
8	1	0	1	0	0
9	-1	0	0	-1	0
10	1	0	0	-1	0
11	-1	0	0	1	0
12	1	0	0	1	0
13	-1	0	0	0	-1
14	1	0	0	0	-1
15	-1	0	0	0	1
16	1	0	0	0	1
17	0	-1	-1	0	0
18	0	1	-1	0	0
19	0	-1	1	0	0
20	0	1	1	0	0
21	0	-1	0	-1	0
22	0	1	0	-1	0
23	0	-1	0	1	0
24	0	1	0	1	0
25	0	-1	0	0	-1
26	0	1	0	0	-1
27	0	-1	0	0	1
28	0	1	0	0	1
29	0	0	-1	-1	0
30	0	0	1	-1	0
31	0	0	-1	1	0
32	0	0	1	1	0
33	0	0	-1	0	-1
34	0	0	1	0	-1
35	0	0	-1	0	1
36	0	0	1	0	1
37	0	0	0	-1	-1
38	0	0	0	1	-1
39	0	0	0	-1	1
40	0	0	0	1	1
41	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0

Таблица 6.3.2 - Факторное пространство для исследования формы холмообразного распределения

Код	Натуральные уровни значений варьируемых факторов				
	X1	X2	X3	X4	X5
1	280	40	40	40	40
0	340	120	120	120	120
-1	400	200	200	200	200

Таблица 6.3.3 –Полный факторный эксперимент для 2 факторов на 3 уровнях варьирования

Номера экспериментов	Кодированные уровни значений варьируемых факторов	
	X1	X2
1	-1	-1
2	0	-1
3	1	-1
4	-1	0
5	0	0
6	1	0
7	-1	1
8	0	1
9	1	1

Таблица 6.3.4 - Факторное пространство для исследования влияния смещения холмообразного распределения в плане

Код	Натуральные уровни значений варьируемых факторов				
	X1	X2	X3	X4	X5
1	280	40	40	40	40
0	340	120	120	120	120
-1	400	200	200	200	200

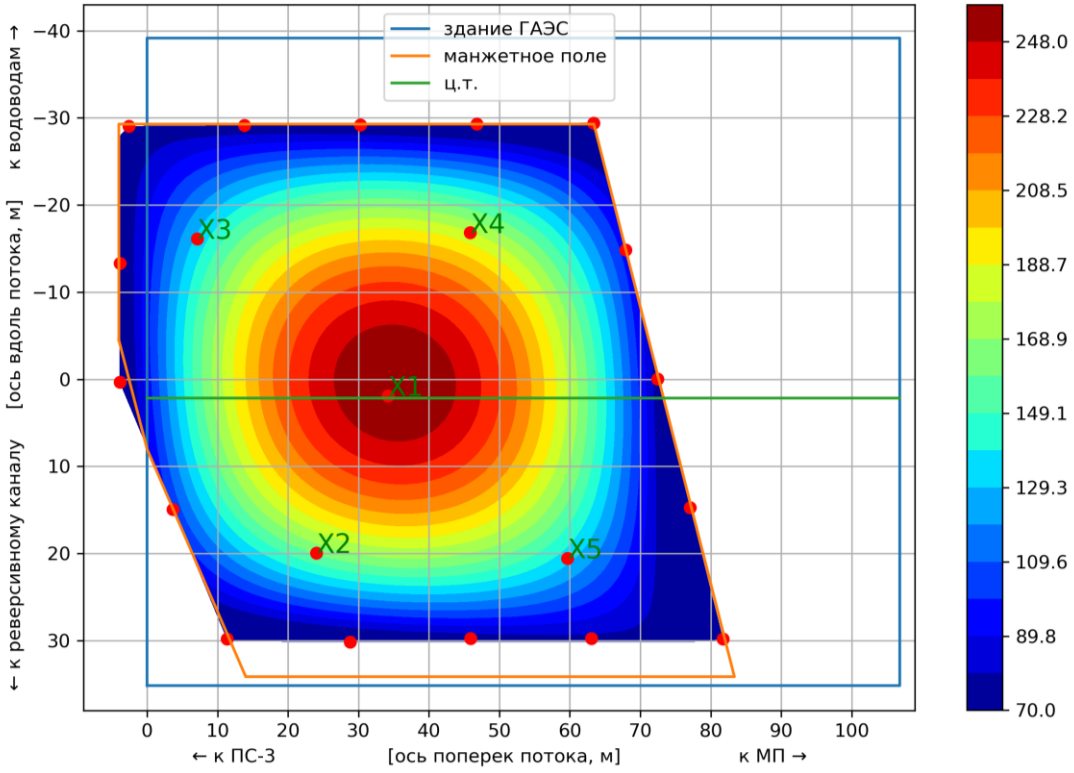


Рисунок 6.3.1. Схема распределения компенсационного нагнетания. Варьирование формы холмообразного распределения

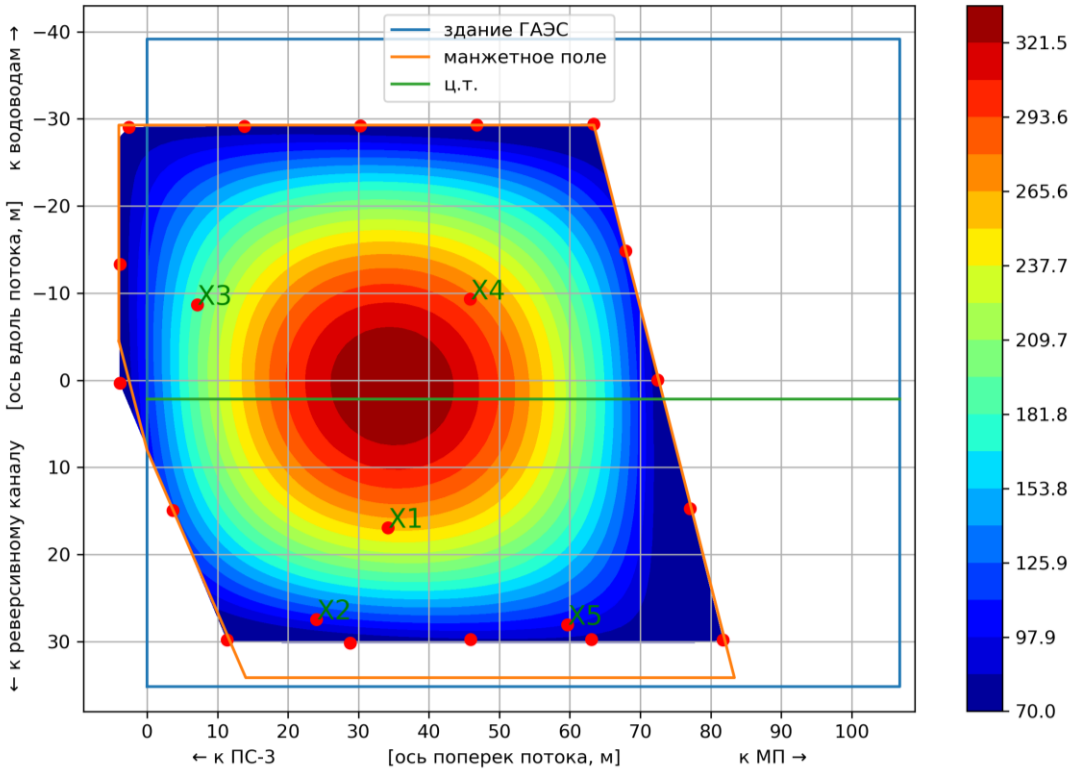


Рисунок 6.3.2. Схема распределения компенсационного нагнетания. Варьирование смещения холмообразного распределения

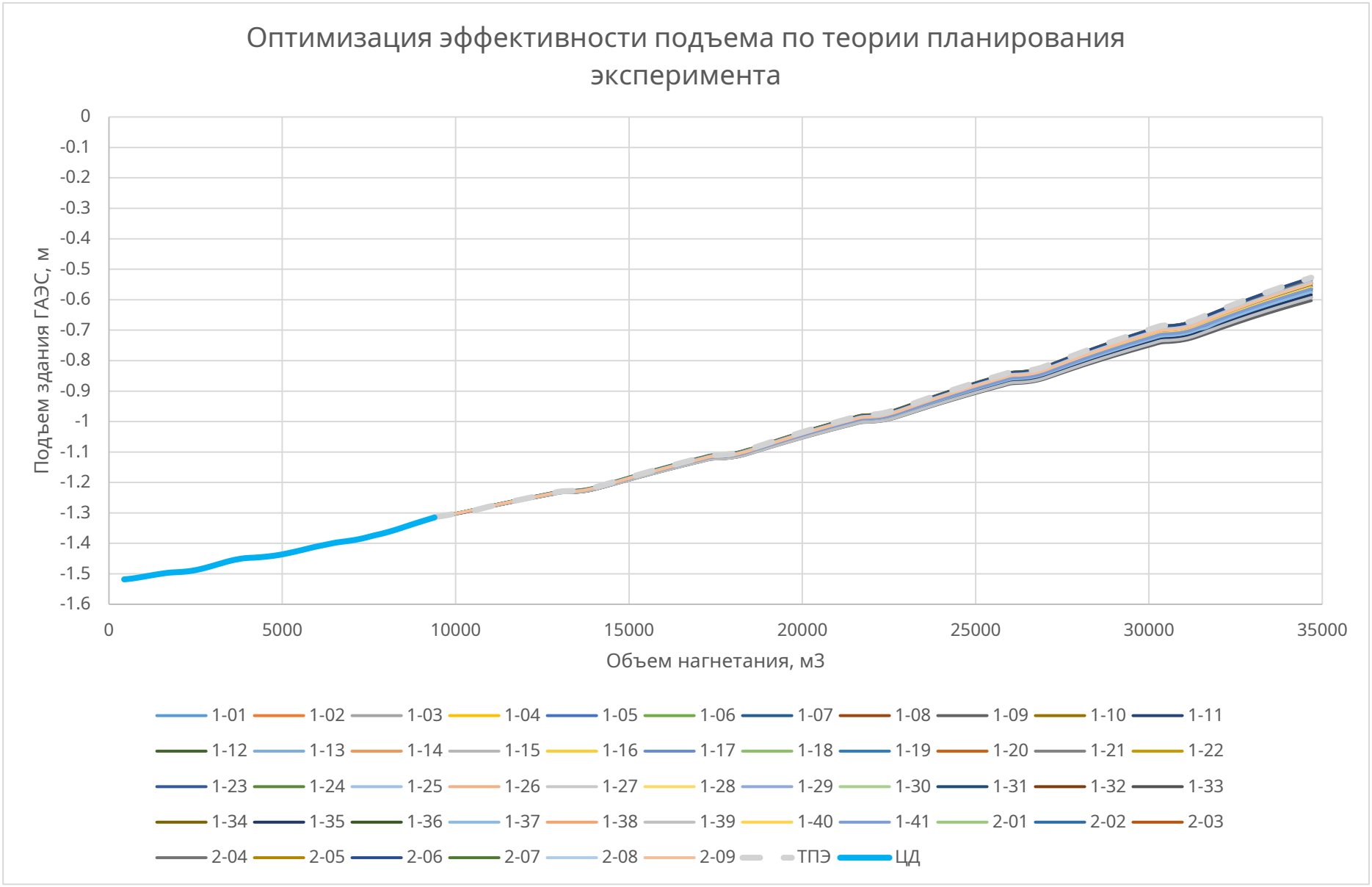


Рисунок 6.3.3. Результаты оптимизации по теории планирования эксперимента (расчетные графики подъема в сопоставлении с фактическим ходом реализации проекта и базовым проектным сценарием с поправкой на текущую эффективность)

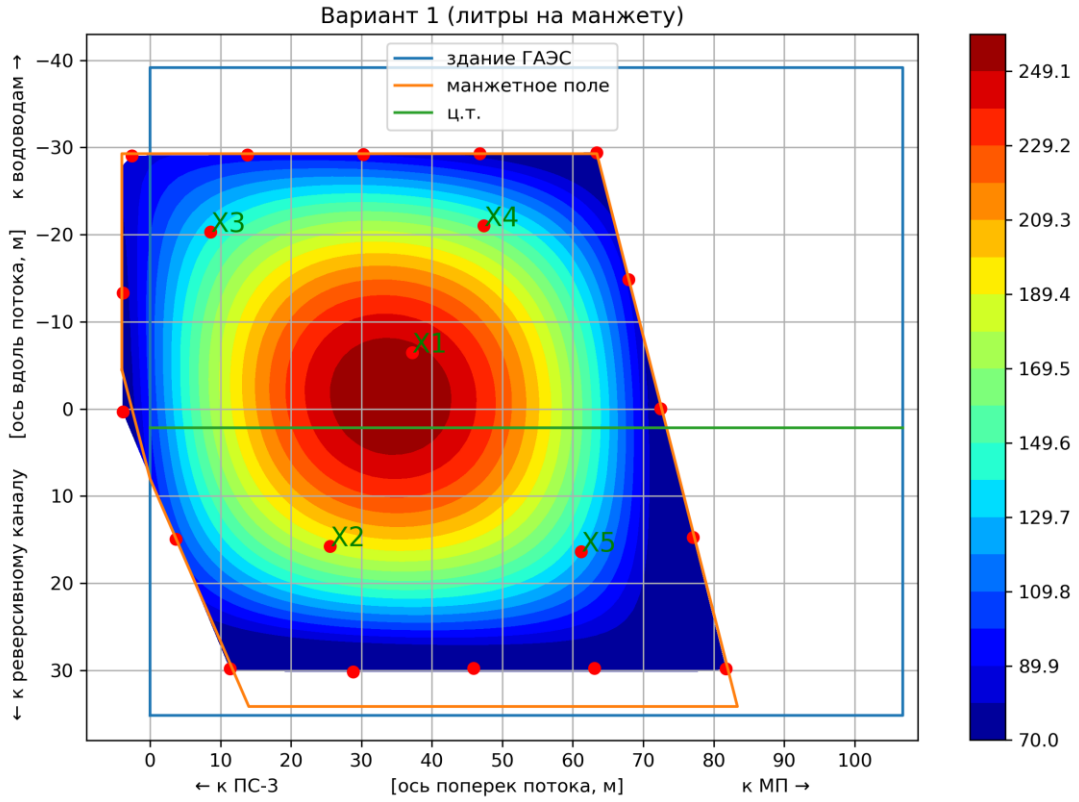


Рисунок 6.3.4. Оптимизированная схема распределения компенсационного нагнетания

6.4. Оптимизационные расчеты на основе сферических, конических и круговых распределений объемов компенсационного раствора

Принципиальные схемы распределений сферических, конических и круговых распределений объемов компенсационного раствора представлены, соответственно, на рисунках 6.4.1–6.4.3. Расчётные распределения представлены в приложении Г.5.

Распределения данного типа создают двойной эффект сосредоточения действия подъемной силы: во-первых, за счет ограничения площади распределения, во-вторых, за счет концентрации объемов компенсационного раствора в центре распределения.

Подобные сосредоточенные распределения не могут применяться для большого объема компенсационного раствора, соответствующего полному подъему здания ГАЭС. Поэтому расчеты выполнены в объеме 125 м^3 компенсационного раствора. Целесообразная область применения распределений данного типа – оказание корректирующих воздействий на подъем, при этом распределение следует проектировать с учетом положения центра тяжести здания и необходимого характера корректирующего воздействия.

Результаты сопоставительных расчетов представлены в таблице 6.4.1.

Таблица 6.4.1 – Результаты сопоставительных расчетов на основе сферических, конических и круговых распределений

№	Варианты распределения	Эффективность, мм/1000 м^3
1	Радиус 12 - сфера	4.90
2	Радиус 12 - конус	7.45
3	Радиус 12 - круг	8.04
4	Радиус 16 - сфера	8.56
5	Радиус 16 - конус	11.34
6	Радиус 16 - круг	12.04
7	Радиус 20 - сфера	11.50
8	Радиус 20 - конус	14.59
9	Радиус 20 - круг	15.41

Результаты показывают, что наибольшую эффективность демонстрирует круговое распределение большого радиуса.

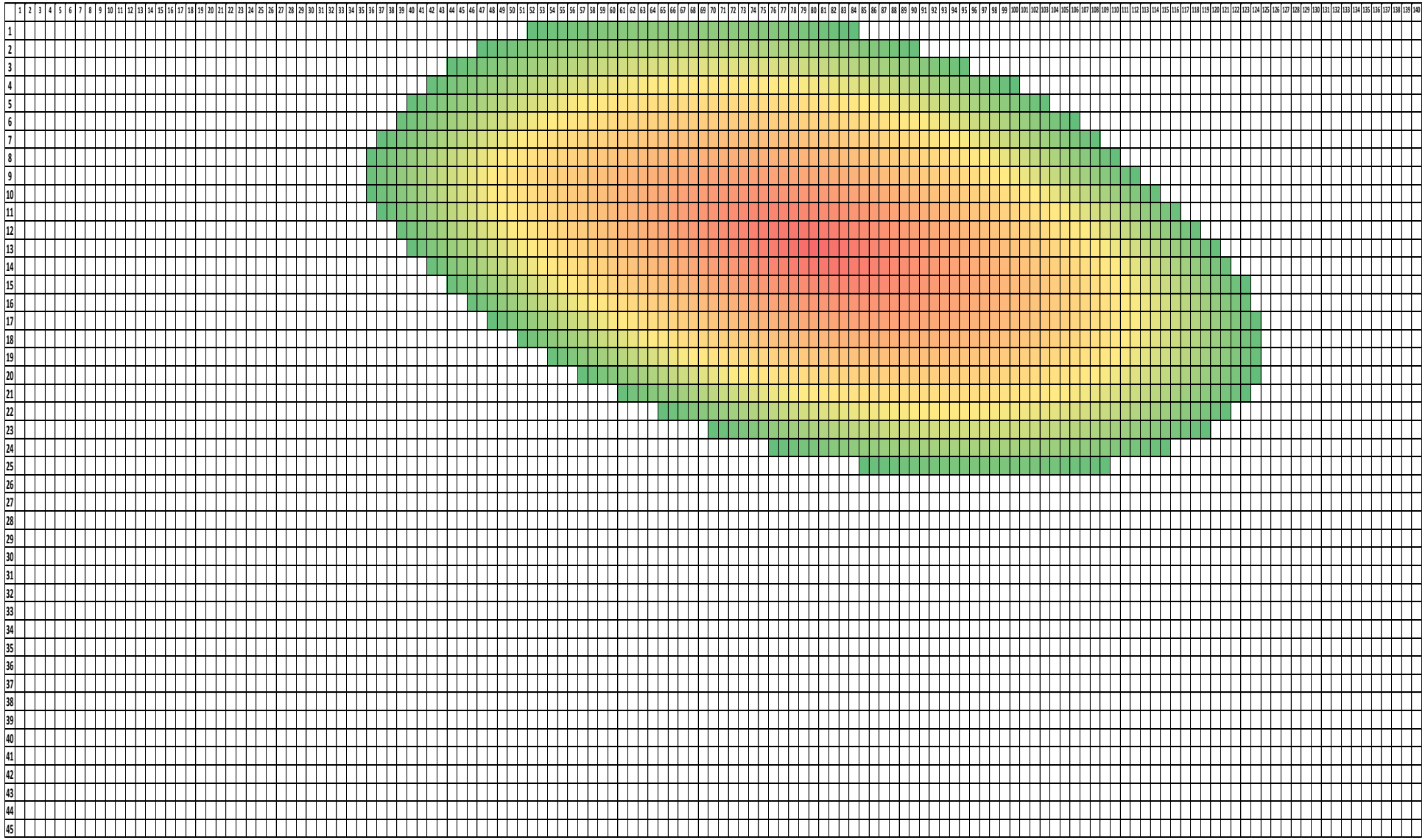


Рисунок 6.4.1. Схема сферического распределения компенсационного нагнетания

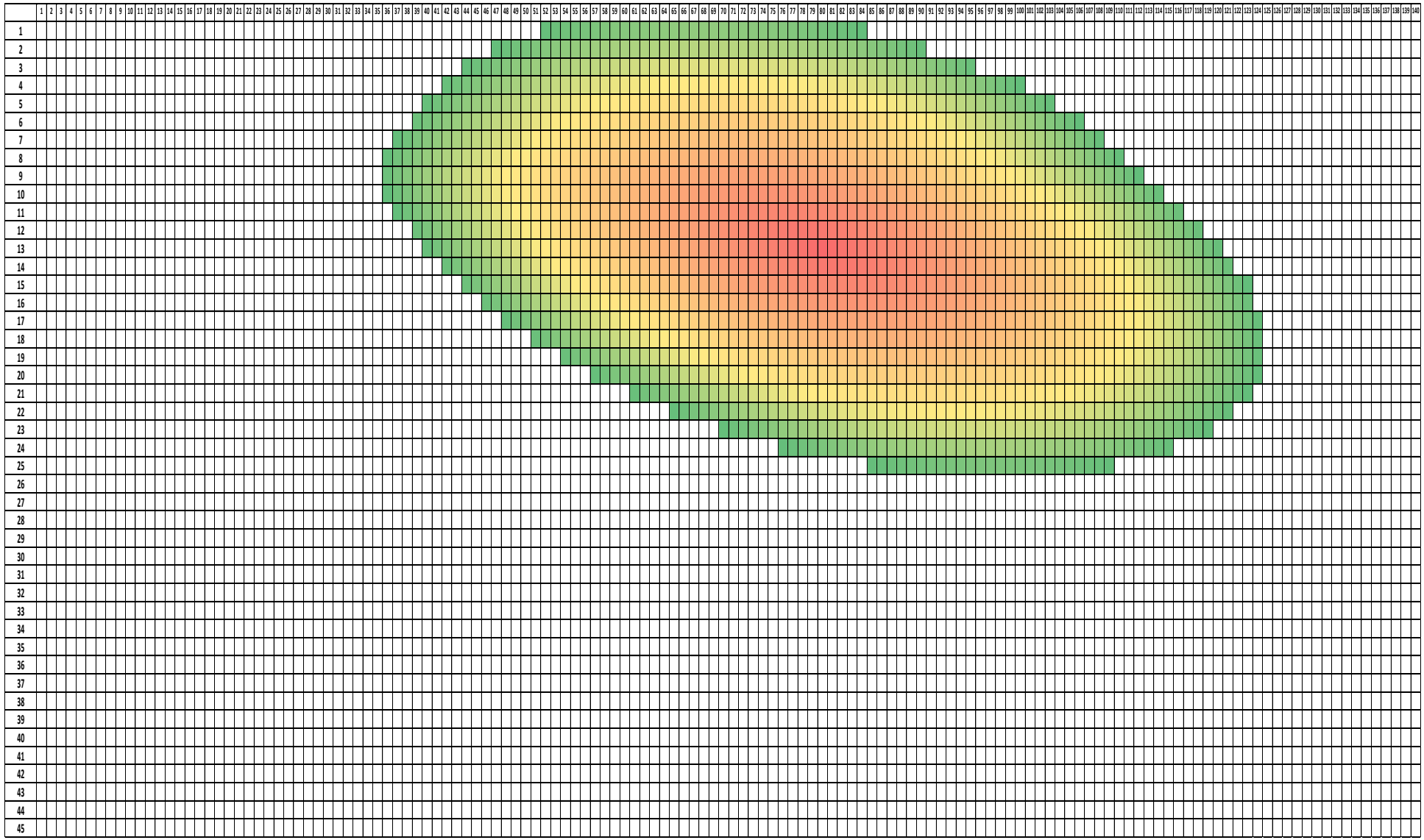


Рисунок 6.4.2. Схема конического распределения компенсационного нагнетания

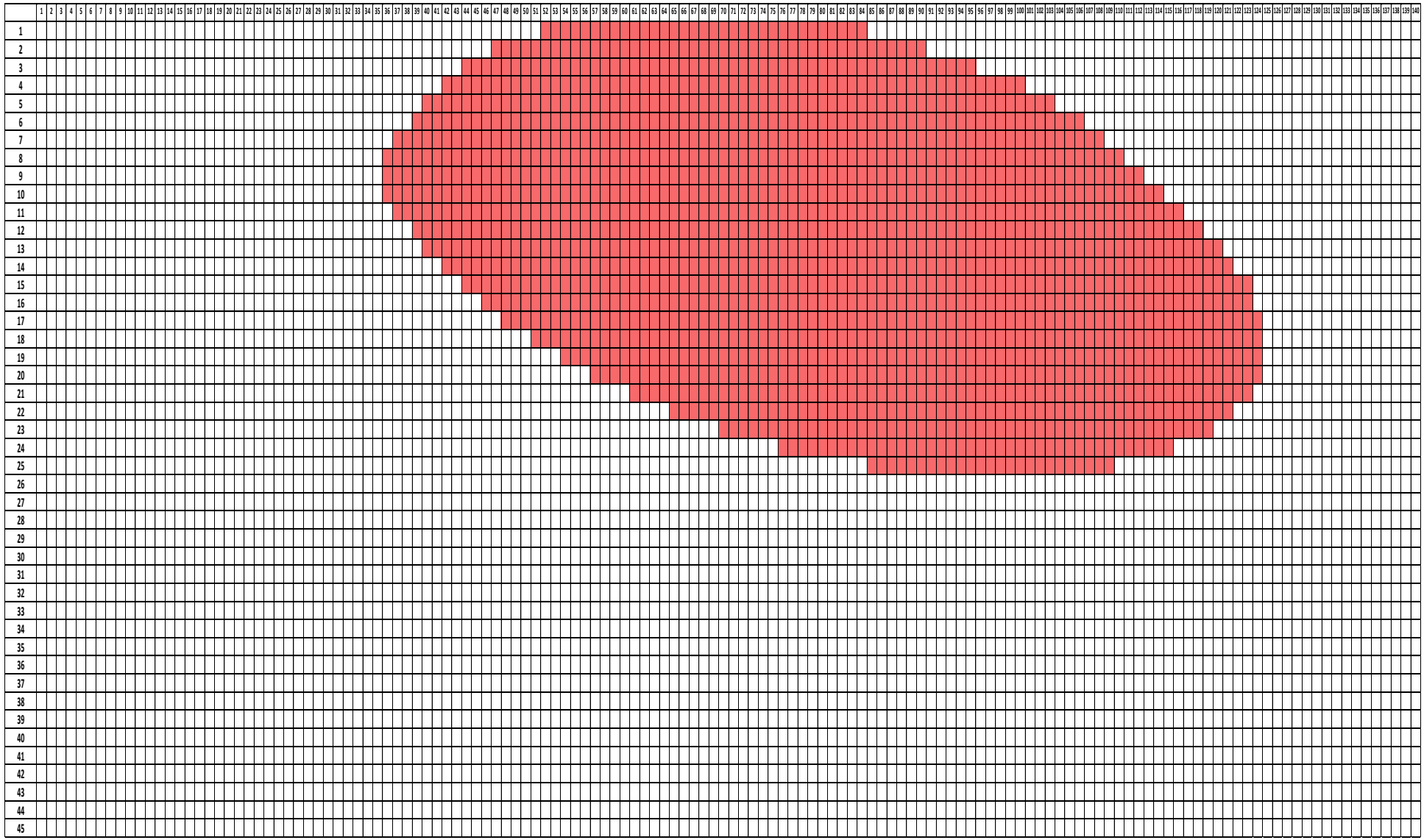


Рисунок 6.4.3. Схема кругового распределения компенсационного нагнетания

7. Разработка сменных заданий

Разработанные семейства оптимальных распределений объемов компенсационного нагнетания являются основой для формирования комплектов сменных заданий, регламентирующих последовательность нагнетаний, объемы нагнетаний в каждую манжету, скорость закачки компенсационного раствора, последовательность переходов насосов между манжетными колоннами.

При формировании комплектов сменных заданий решается задача равномерного формирования заданного распределения объемов компенсационного нагнетания с учетом технологических особенностей процесса нагнетания. Таким образом поддерживается одинаковое отношение инъектированного объема компенсационного раствора к запланированному по всей площади манжетного поля в рамках каждого этапа.

Сменные задания учитывают принятую на сегодняшний день технологию производства работ, наличное количество насосов, а также технологические ограничения по подключению насосов и по объёму инъектирования в каждую манжету.

При разработке сменных заданий учитываются факты выхода из строя некоторых манжетных колонн и обеспечивается корректировка распределения путем перераспределения выпадающих объемов на смежные манжетные колонны. Перераспределение выполняется в первую очередь в поперечном направлении по принципу домино: вначале выпадающий объем добавляется к ближайшим работоспособным манжетным колоннам по обе стороны, если при этом превышается максимальный объем инъектирования в манжету, то величина превышения добавляется к следующему ряду манжетных колонн, и так далее. В зонах, где перераспределения в поперечном направлении недостаточно, проводится распределение в продольном направлении по аналогичному принципу.

Непосредственно сменные задания регламентируют:

- последовательность проведения инъекций в каждую манжету по длине манжетной колонны, при этом инъектирование организуется в несколько проходов двухстороннего пакера;
- объем нагнетания в каждую манжету с точностью до одного литра компенсационного раствора;
- взаимную увязку сменных заданий для обеспечения рациональной схемы переключения насосов между различными манжетными колоннами при выполнении условия по обеспечению равномерности формирования заданного распределения объемов.

Разработанные сменные задания в количестве 6 комплектов (на суммарный объем компенсационного раствора 1 531 098 литров) представлены в приложении Д (тома 2, 3).

8. Выводы

5.1. Выполнен анализ распределения проектных и фактических объемов инъектирования медленнотвердеющего компенсационного раствора в основание здания Загорской ГАЭС-2 за период с начала выполнения компенсационного нагнетания по настоящее время (раздел 4). Проектное распределение объемов инъектирования принято по данным [2.19].

5.2. К фактическим объемам по ярусам 8, 7 и 6 применен поправочный коэффициент 0,88 на погрешность расходомеров [2.20].

5.3. Актуализирована пространственная конечно-элементная модель в постановке «здание ГАЭС – основание», откалиброванная по результатам мониторинга и отражающая поэтапный процесс компенсационного нагнетания (раздел 5).

5.4. На основе актуализированной МКЭ модели рассчитан оптимизированный вариант распределения объемов компенсационного раствора по ярусу 5 манжетного поля на основе теории планирования эксперимента по планам второго порядка Бокса-Бенкена, включающих в себя 340 численных расчетов (раздел 6).

5.5. На основе оптимальных распределений разработаны комплекты сменных заданий в количестве 6 комплектов (на суммарный объем компенсационного раствора 1 531 098 литров, раздел 7, приложения Д в томах 2 и 3 настоящего отчета). Сменные задания учитывают актуальную технологию производства работ, наличное количество насосов, а также технологические ограничения по подключению насосов и по объёму инъектирования в каждую манжету. Учитываются факты выхода из строя некоторых манжетных колонн и обеспечивается корректировка распределения путем перераспределения выпадающих объемов.

Приложение А. Лицензии и сертификаты

НОПРИЗ

АССОЦИАЦИЯ САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ОБЩЕРОССИЙСКАЯ НЕГОСУДАРСТВЕННАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ – ОБЩЕРОССИЙСКОЕ МЕЖОТРАСЛЕВОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ РАБОТОДАТЕЛЕЙ «НАЦИОНАЛЬНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ, ОСНОВАННЫХ НА ЧЛЕНСТВЕ ЛИЦ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ, И САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ, ОСНОВАННЫХ НА ЧЛЕНСТВЕ ЛИЦ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ПОДГОТОВКУ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ»

7720374490-20230309-1001 (регистрационный номер выписки)

09.03.2023 (дата формирования выписки)

ВЫПИСКА
из единого реестра сведений о членах саморегулируемых организаций в области инженерных изысканий и в области архитектурно-строительного проектирования и их обязательствах

Настоящая выписка содержит сведения о юридическом лице (индивидуальном предпринимателе), осуществляющем подготовку проектной документации:

Общество с ограниченной ответственностью "Сигма Тау"
(полное наименование юридического лица/ФИО индивидуального предпринимателя)

1177746277323
(основной государственный регистрационный номер)

1. Сведения о члене саморегулируемой организации:		
1.1	Идентификационный номер налогоплательщика	7720374490
1.2	Полное наименование юридического лица (Фамилия Имя Отчество индивидуального предпринимателя)	Общество с ограниченной ответственностью "Сигма Тау"
1.3	Сокращенное наименование юридического лица	ООО "Сигма Тау"
1.4	Адрес юридического лица Место фактического осуществления деятельности (для индивидуального предпринимателя)	111123, Россия, Москва, г. Москва, шоссе Энтузиастов, 56, стр.44, пом.13
1.5	Является членом саморегулируемой организации	Саморегулируемая организация Ассоциация Проектировщиков "Альянс Проектировщиков Профессионалов" (СРО-П-163-20122010)
1.6	Регистрационный номер члена саморегулируемой организации	П-163-007720374490-0107
1.7	Дата вступления в силу решения о приеме в члены саморегулируемой организации	
1.8	Дата и номер решения об исключении из членов саморегулируемой организации, основания исключения	

2. Сведения о наличии у члена саморегулируемой организации права осуществлять подготовку проектной документации:		
2.1 в отношении объектов капитального строительства (кроме особо опасных, технически сложных и уникальных объектов, объектов использования атомной энергии) (дата возникновения/изменения права)	2.2 в отношении особо опасных, технически сложных и уникальных объектов капитального строительства (кроме объектов использования атомной энергии) (дата возникновения/изменения права)	2.3 в отношении объектов использования атомной энергии (дата возникновения/изменения права)
Да, 22.05.2017	Да, 22.05.2017	Нет

1

3. Компенсационный фонд возмещения вреда		
3.1	Уровень ответственности члена саморегулируемой организации по обязательствам по договору подряда на подготовку проектной документации, в соответствии с которым указанным членом внесен взнос в компенсационный фонд возмещения вреда	**Первый уровень ответственности (не превышает двадцать пять миллионов рублей)**
3.2	Сведения о приостановлении права осуществлять подготовку проектной документации объектов капитального строительства	
4. Компенсационный фонд обеспечения договорных обязательств		
4.1	Дата, с которой член саморегулируемой организации имеет право осуществлять подготовку проектной документации по договорам подряда, заключаемым с использованием конкурентных способов заключения договоров, в соответствии с которым указанным членом внесен взнос в компенсационный фонд обеспечения договорных обязательств	**22.05.2017**
4.2	Уровень ответственности члена саморегулируемой организации по обязательствам по договорам подряда на подготовку проектной документации, заключаемым с использованием конкурентных способов заключения договоров, в соответствии с которым указанным членом внесен взнос в компенсационный фонд обеспечения договорных обязательств	**Первый уровень ответственности (не превышает двадцать пять миллионов рублей)**
4.3	Дата уплаты дополнительного взноса	**Нет**
4.4	Сведения о приостановлении права осуществлять подготовку проектной документации по договорам подряда, заключаемым с использованием конкурентных способов заключения договоров	
5. Фактический совокупный размер обязательств		
5.1	Фактический совокупный размер обязательств по договорам подряда на подготовку проектной документации, заключаемым с использованием конкурентных способов заключения договоров на дату выдачи выписки	**Нет**

Руководитель аппарата

НОПРИЗ
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН УСИЛЕННОЙ КВАЛИФИЦИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Владелец: «НАЦИОНАЛЬНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ИЗЫСКАТЕЛЕЙ И ПРОЕКТИРОВЩИКОВ» «НОПРИЗ»
СЕРТИФИКАТ 13 17 e5 86 00 55 af 51 88 40 b6 b0 68 a2 20 6a 90
ДЕЙСТВИТЕЛЕН: С 22.11.2022 ПО 22.11.2023

А.О. Кожуховский

2

СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

Добровольная сертификация

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

№ РОСС RU.СП25.Н00103

Срок действия с 09.09.2019 по -

№ 0411012

ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ рег. № RA.RU.11СП25. Орган по сертификации программного обеспечения, информационной техники и средств информатизации НП "ГРАНИТ-ЭС", 115172, г. Москва, ул. Малые Каменщики, д. 18, корп.2, офис 29, тел. (495) 9127043, факс (495) 9127043, E-mail: Granit-ec@mail.ru

ПРОДУКЦИЯ

Программный конечно-элементный комплекс Z_Soil v.18 – геотехнически ориентированный, предназначенный для моделирования грунтов и механики горных пород, надземных и подземных сооружений, взаимодействий между грунтом и сооружением с учетом фактической последовательности производства работ. Единичное изделие

код ОК 58.29.32.000

код ТН ВЭД

СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

ГОСТ 28195-89 (табл. 1, пп. 1-4, 5.2, 5.3, 6), ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000 (разд. 3.1.3, 3.1.5, 3.3.1, 3.3.3), ГОСТ Р ИСО 9127-94 (п.6.1, 6.3-6.5),ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 (п.4.1-4.4) и других
(См. Приложение на 1 л., на бланке № 0998700)

ИЗГОТОВИТЕЛЬ Компания Zace Services LTD CH 1015 Lausanne, Chemin de Chantemerle 14, c/o Fiduciaire Rouvrex S.A., Швейцария

СЕРТИФИКАТ ВЫДАН Общество с ограниченной ответственностью «НИЦ Тоннельной ассоциации» ОГРН 1117746450392, ИНН 7716691200, 129344, г. Москва, ул. Енисейская, д. 7, стр. 4, комн. 10, тел.: +7 (495) 788 80 61

НА ОСНОВАНИИ

Протокола испытаний № 17/2019 от 02.09.2019г. Испытательной лаборатории программного обеспечения, информационных технологий и средств информатизации НП "ГРАНИТ-ЭС", рег. № RA.RU.22СП37

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Схема сертификации: 8

Для сертификатов М.П.

Руководитель органа _____ (подпись) Ю.П. Галустян (инициалы, фамилия)

Эксперт _____ (подпись) Я.А. Шнейдерман (инициалы, фамилия)

Сертификат не применяется при обязательной сертификации

АО «ОПЦИОН», Москва, 2018, «В» лицензия № 05-05-09/003 ФНС РФ, тел. (495) 726 4742, www.opcion.ru

СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

№ 0998700

ПРИЛОЖЕНИЕ

К сертификату соответствия № РОСС RU.СП25.Н00103

Перечень конкретной продукции, на которую распространяется действие сертификата соответствия

код ОК 005 (ОКП) / код ТН ВЭД России	Наименование и обозначение продукции, ее изготовитель	Обозначение документации, по которой выпускается продукция
58.29.32.000	Программный конечно-элементный комплекс Z_Soil v.18 – геотехнически ориентированный, предназначенный для моделирования грунтов и механики горных пород, надземных и подземных сооружений, взаимодействий между грунтом и сооружением с учетом фактической последовательности производства работ ИЗГОТОВИТЕЛЬ: Компания Zace Services LTD	Нормативные документы, которым соответствует программный комплекс: СП 14.13330.2018 (СНиП II-7-81*); СП 20.13330.2016 (СНиП 2.01.07-85*); СП 21.13330.2012 (СНиП 2.01.09-91); СП 22.13330.2016 (СНиП 2.02.01-83*); СП 23.13330.2018 (СНиП 2.02.02-85); СП 24.13330.2011 (СНиП 2.02.03-85); СП 25.13330.2012 (СНиП 2.02.04-88); СП 31.13330.2012 (СНиП 2.04.02-84*); СП 32.13330.2018 (СНиП 2.04.03-85); СП 33.13330.2012 (СНиП 2.04.12-86); СП 34.13330.2012 (СНиП 2.05.02-85*); СП 35.13330.2011 (СНиП 2.05.03-84*); СП 36.13330.2012 (СНиП 2.05.06-85*); СП 39.13330.2012 (СНиП 2.06.05-84*); СП 40.13330.2012 (СНиП 2.06.06-85); СП 63.13330.2018 (СНиП 52-01-2003); СП 101.13330.2012 (СНиП 2.06.07-87); СП 102.13330.2012 (СНиП 2.06.09-84); СП 119.13330.2017 (СНиП 32-01-95); СП 120.13330.2012 (СНиП 32-02-2003); СП 122.13330.2012 (СНиП 32-04-97); СП 124.13330.2012 (СНиП 41-02-2003); СП 16.13330.2017 (СНиП II-23-81*); СП 41.13330.2012 (СНиП 2.06.08-87); СП 45.13330.2017 (СНиП 3.02.01-87); СП 91.13330.2012 (СНиП II-94-80); СП 116.13330.2012 (СНиП 22-02-2003); СП 248.1325800.2016; СП 249.1325800.2016; СП 291.1325800.2017; СП 297.1325800.2017; СП 341.1325800.2017; СП 360.1325800.2017; СП 361.1325800.2017; СП 381.1325800.2018; ТСН 50 304-2001 г.Москвы (МГСН 2.07-01). ГОСТ 27751- 2014.

Для сертификатов М.П.

Руководитель органа _____ подпись Ю.П. Галустян (инициалы, фамилия)

Эксперт _____ подпись Я.А. Шнейдерман (инициалы, фамилия)

АО «ОПЦИОН», Москва, 2016, «В» лицензия № 05-05-09/003 ФНС РФ, тел. (495) 726 4742, www.opcion.ru

ZACE SERVICES LTD
P.O.Box 2
CH-1015 Lausanne
Switzerland

SOFTWARE ENGINEERING

tel.+41 (0)21 802 4605 fax+41 (0)21 802 4606

e_mail: info@zace.com
http://www.zace.com

VAT: CHE-105.887.334

founded 1982

TO WHOM IT MAY CONCERN

Lausanne 15.6.2018

CERTIFICATE

This is to certify that

Sigma Tau LLC
Entuziastov 56, str. 44, pom. 13
office 1006
MOSCOW 111123, Russia

is the owner of a time unlimited Z-SOIL Version 2018 professional site license № STLLC176

The exporter of the products covered by this document declares that except where otherwise stated these products are of Swiss preferential origin.

Th.Zimmermann, President

ZACE SERVICES SA
CASE 2
CH-1015 LAUSANNE

Приложение Б. Техническое задание

Приложение №1
к Договору № П-35/19-02
от «____» _____ 2023 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на выполнение работ по теме:

«ОКПД2 71.20.19. Выполнение расчетов по оптимизации распределения инъекционных объемов компенсационного нагнетания манжетных колонн с учетом результатов мониторинга подъема здания ГАЭС и накопленных инъекционных объемов на ярусах с 8 по 5 манжетных колонн за период с начала компенсационного нагнетания при выравнивании станционного узла Загорской ГАЭС-2 в 2023 году расположенного в Московской области, Сергиево-Посадском районе, рабочий поселок Богородское в рамках выполнения работ "Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы»

№ п/п	Перечень основных данных и требований	Основные данные и требования
1	Заказчик	АО «Институт Гидропроект»
2	Подрядчик	ООО «Сигма Тау»
3	Объект строительства	Загорская ГАЭС-2
4	Вид строительства	Новое строительство
5	Место расположения строительства	Московская область, г. Сергиев-Посад, рабочий поселок Богородское
6	Стадия проектирования	Рабочая документация
7	Цели и задачи	Целью работы является оптимизация распределения инъекционных объемов компенсационного нагнетания на ярусе 5 манжетных колонн с учетом результатов мониторинга подъема здания ГАЭС и накопленных инъекционных объемов на ярусах с 8 по 5 манжетных колонн за период с начала работ по компенсационному нагнетанию. Цель работы является составной частью научно-технического сопровождения процесса компенсационного нагнетания и направлена на обеспечение эффективности компенсационного нагнетания путем учёта фактических данных, полученных по ходу проведения работ. В ходе выполнения работы допускается корректировка распределения инъекционных объемов компенсационного нагнетания в порядке научно-технического сопровождения, как предусмотрено указаниями рабочей документации. Непосредственной задачей работы является разработка оптимизированных сменных заданий на компенсационное нагнетание в количестве 6 комплектов на 45 инъекционных манжетных колонн 5 яруса с количеством от 70 до 140 манжет в каждой манжетной колонне по расчетным сценариям с целью получения максимального вертикального перемещения здания станции.
8	Требования к выполнению работ	Оптимизация распределения инъекционных объемов компенсационного нагнетания на ярусе 5 манжетных колонн выполняется путем сопоставления сценарных вариантов распределения инъекционных объемов на математической модели.

		Подрядчик самостоятельно составляет рациональные сценарные варианты распределения инъекционных объемов на основе своего геотехнического опыта. Математическое моделирование компенсационного нагнетания выполняется методом конечных элементов с учетом явления упрочнения грунта при компенсационном нагнетания по модели Hardening Soil
9	Материалы, передаваемые Заказчиком Подрядчику	9.1. Отчёты по 7, 8 и 6 ярусам нагнетания по теме: «Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы. Техническое сопровождение процесса восстановления высотного положения здания станционного узла Загорской ГАЭС-2». 9.2. Фактически выполненные инъекционные работы на дату выдачи технического задания. 9.3. Данные мониторинга высотного положения бетонных сооружения станционного узла Загорской ГАЭС-2 на дату выдачи технического задания 9.4. На период выполнения работ Заказчик обеспечивает подключение подрядчика к системе SODIS, предоставляю щей online-доступ к актуальным результатам мониторинга по мере поступления данных. 9.5. Дополнительные исходные данные со стороны Заказчика предоставляются по письменному запросу Подрядчика
10	Перечень документации, передаваемой Подрядчиком Заказчику	1. Пояснительная записка к сменным заданиям. 2. Сменные задания (СЗ) в количестве 6 комплектов, включающих СЗ на 45 инъекционных манжетных колонн 5 яруса с количеством от 70 до 140 манжет в каждой манжетной колонне.
11	Сроки выполнения работы	В соответствии с Календарным графиком (Приложение №2 к Договору)
12	Требования к документации	Материалы передаются Заказчику в 4 (четырех) распечатанных экземплярах и в 2-х (двух) экземплярах в электронном виде. Электронная версия предоставляется в формате PDF, а также в форматах Microsoft Word (текстовая документация), Microsoft Excel (табличная документация), DWG (чертежи в программах AutoCAD, Nanocad и совместимых), позволяющих редактировать указанные документы. Экземпляр, выдаваемый на электронном носителе, является адекватным экземпляру, выполненному на бумаге

Заказчик:
Генеральный директор
АО «Институт Гидропроект»

_____ Е.Н. Беллендир
М.п.

Подрядчик:
Генеральный директор
ООО «Сигма Тау»

_____ А.Н. Симутин
М.п.

Приложение В. Результаты сопоставления проектных и фактических объемов инъектирования

В.1. Результаты сопоставления по ярусу 6

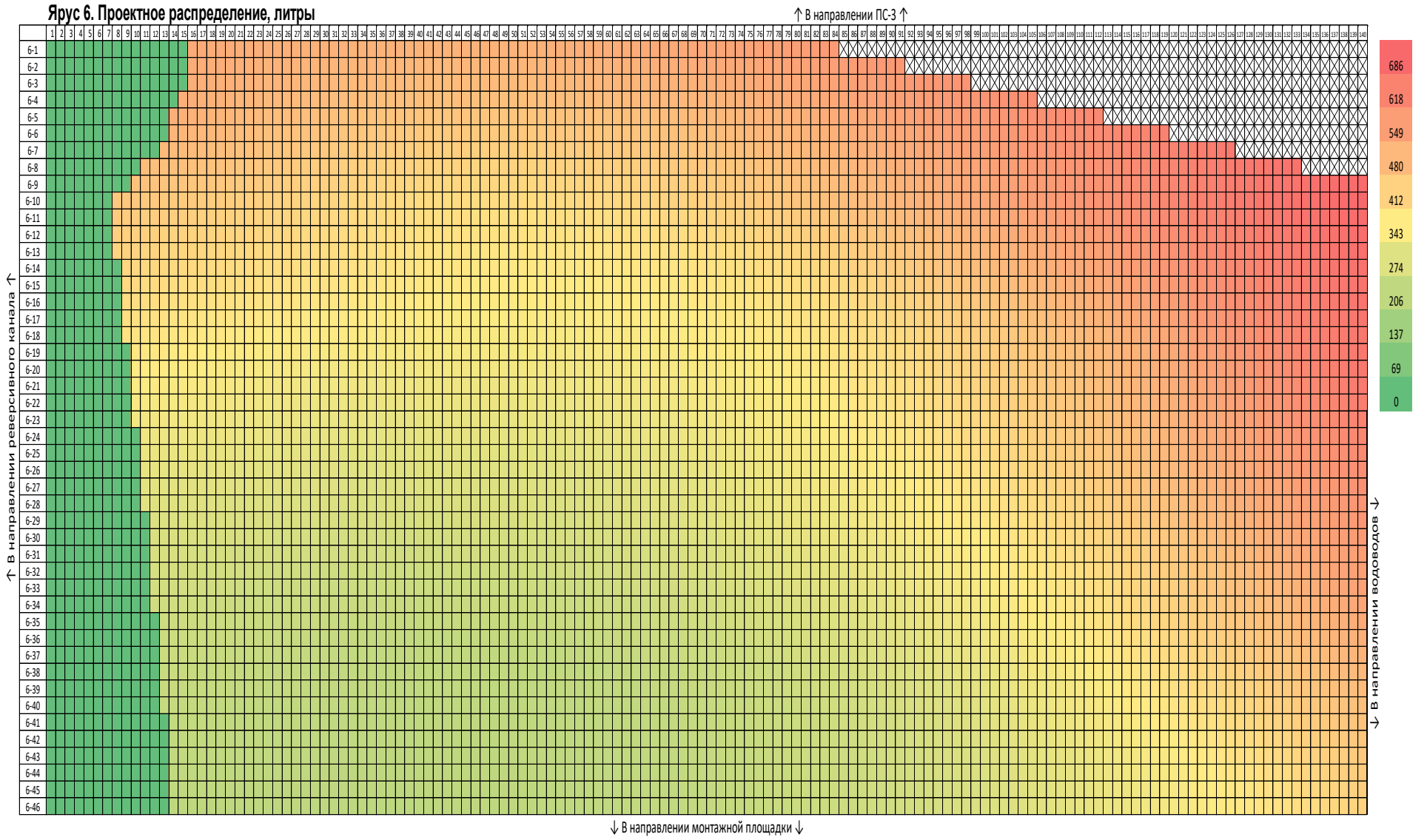


Рисунок В.1.1.

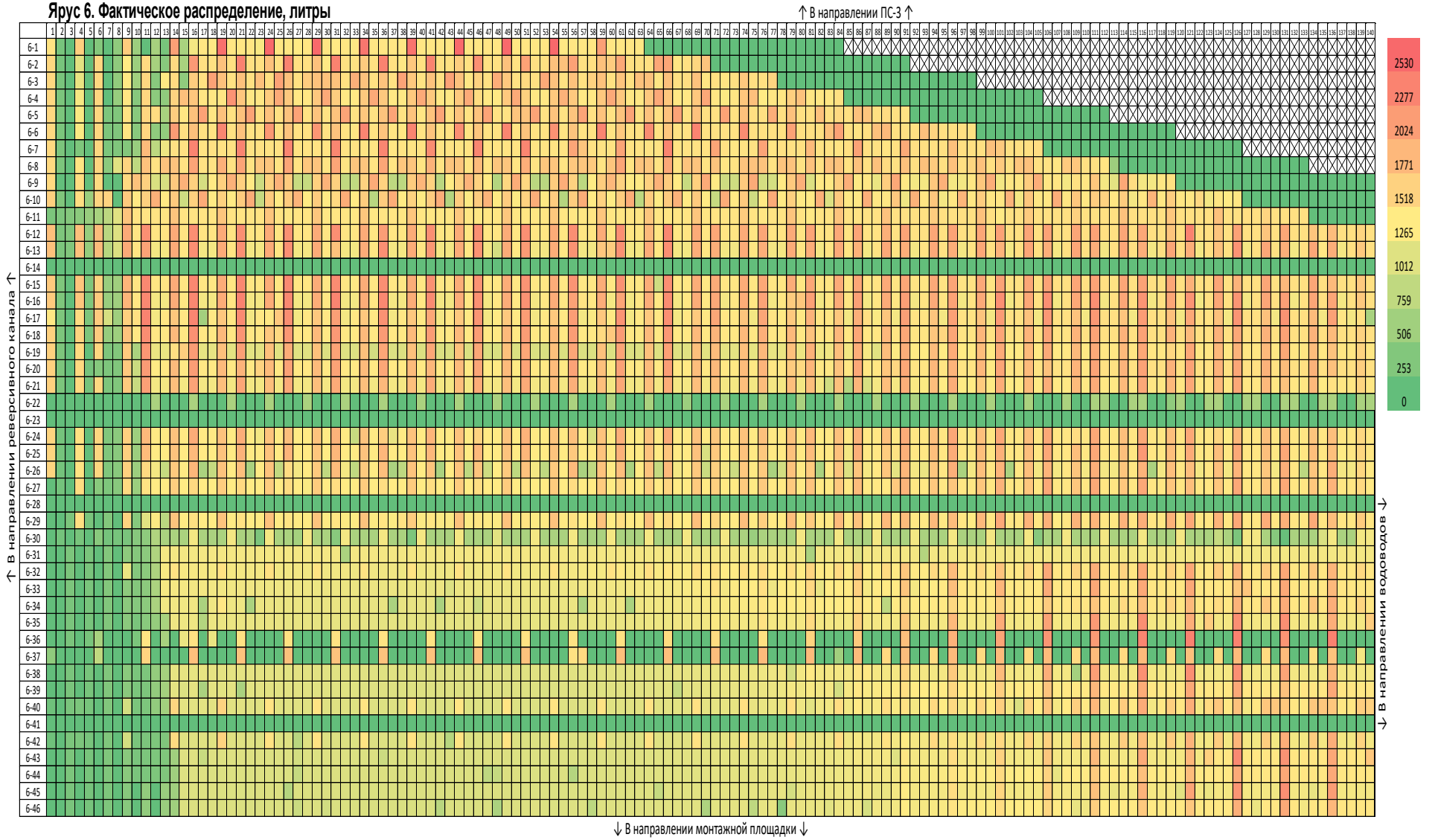

Ярус 6. Фактическое распределение, литры
↑ В направлении ПС-3 ↑
↓ В направлении монтажной площадки ↓
← В направлении реверсивного канала ←
→ В направлении водоводов →
2530
2277
2024
1771
1518
1265
1012
759
506
253
0

Рисунок В.1.2.

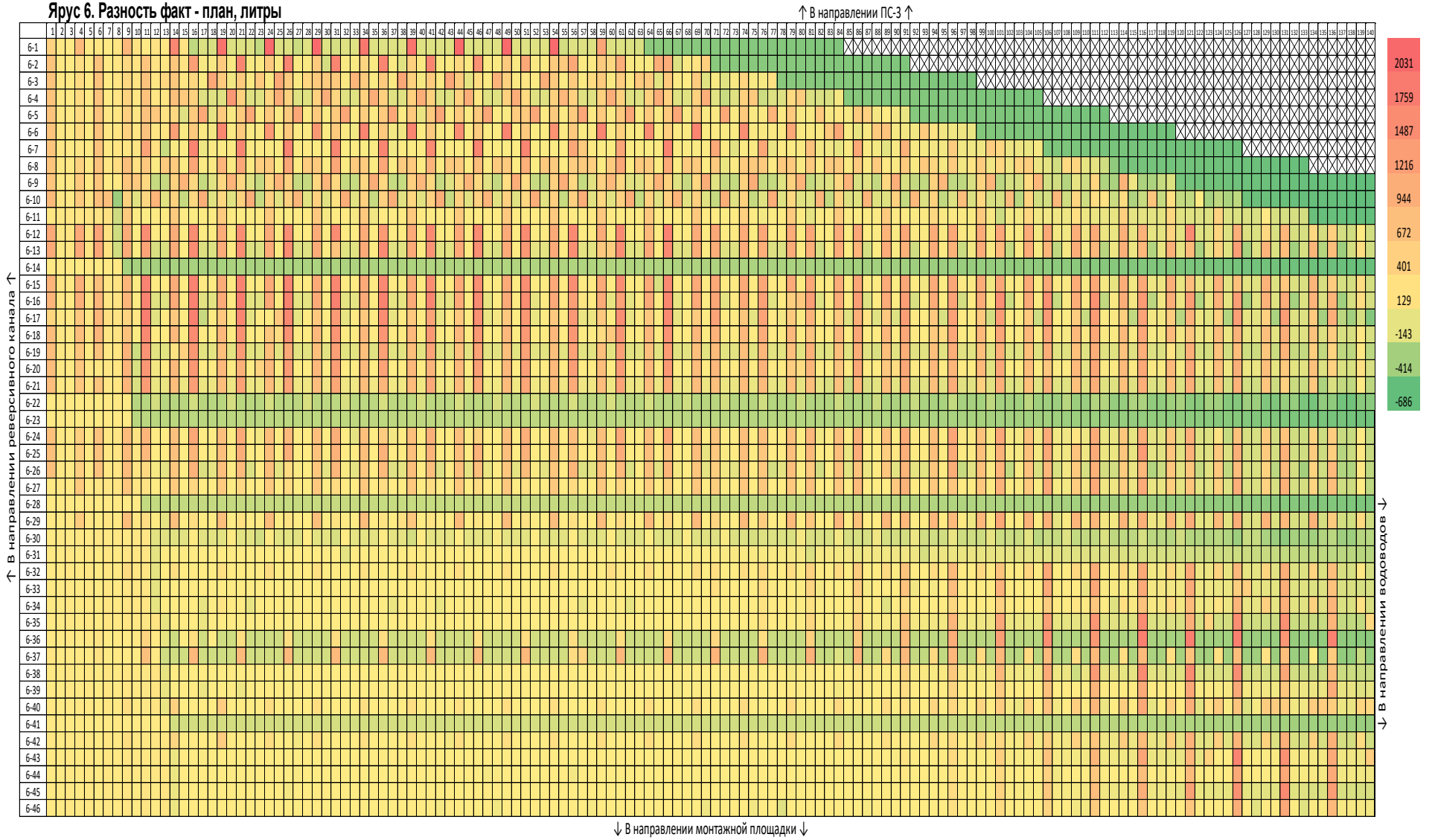

Ярус 6. Разность факт - план, литры
↑ В направлении ПС-3 ↑
↑ В направлении реверсивного канала ↑
↓ В направлении водоводов ↓
↓ В направлении монтажной площадки ↓
2031
1759
1487
1216
944
672
401
129
-143
-414
-686

Рисунок В.1.3.

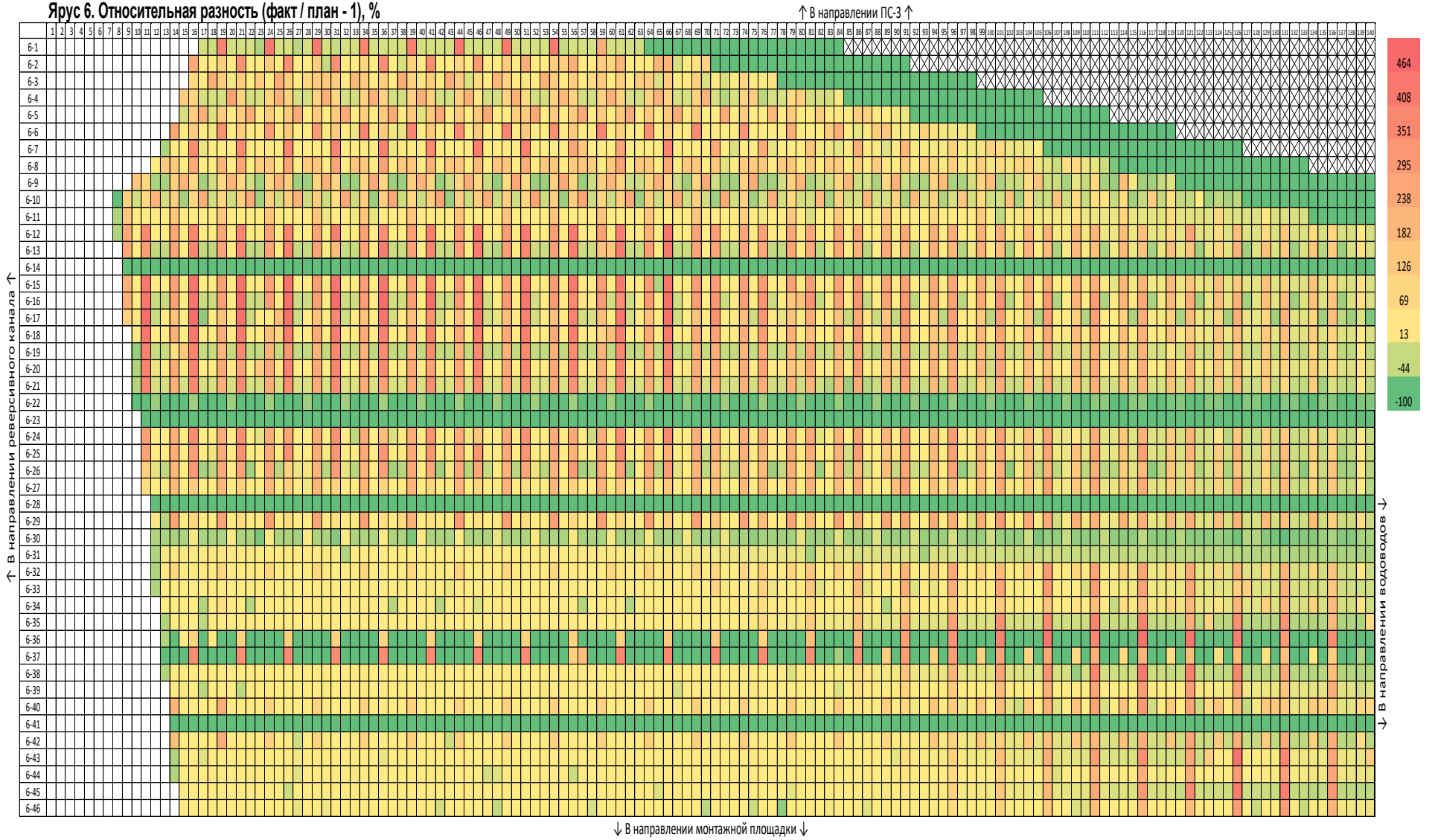

Ярус 6. Относительная разность (факт / план - 1), %
↑ В направлении ПС-3 ↑
← В направлении реверсивного канала ←
→ В направлении водоводов →
↓ В направлении монтажной площадки ↓
464
408
351
295
238
182
126
69
13
-44
-100

Рисунок В.1.4.

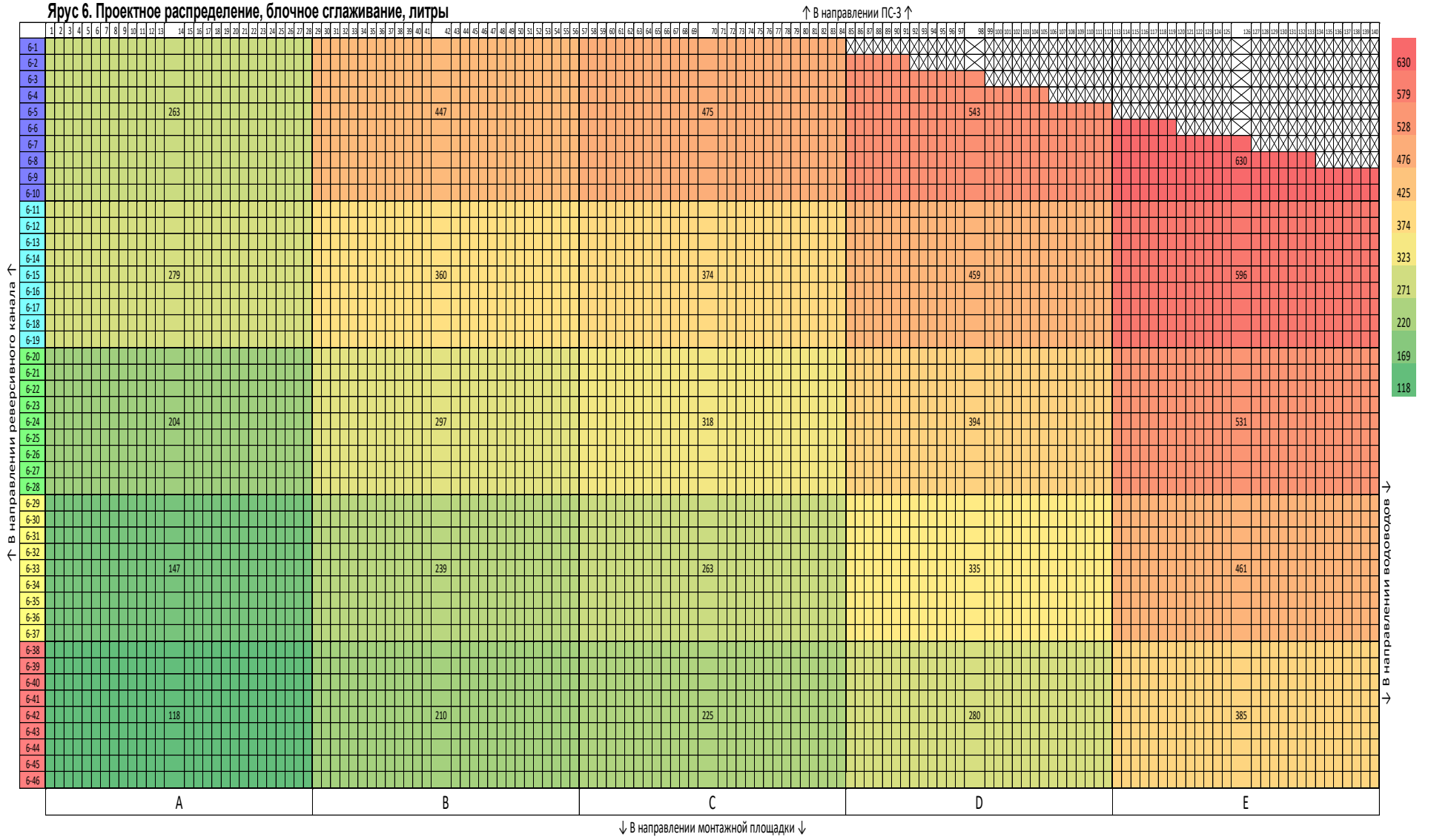

Ярус 6. Проектное распределение, блочное сглаживание, литры
↑ В направлении ПС-3 ↑
↑ В направлении реверсивного канала ↑
↓ В направлении водоводов ↓
↓ В направлении монтажной площадки ↓
A
B
C
D
E
263
447
475
543
630
279
360
374
459
596
204
297
318
394
531
147
239
263
335
461
118
210
225
280
385
630
579
528
476
425
374
323
271
220
169
118

Рисунок В.1.5.

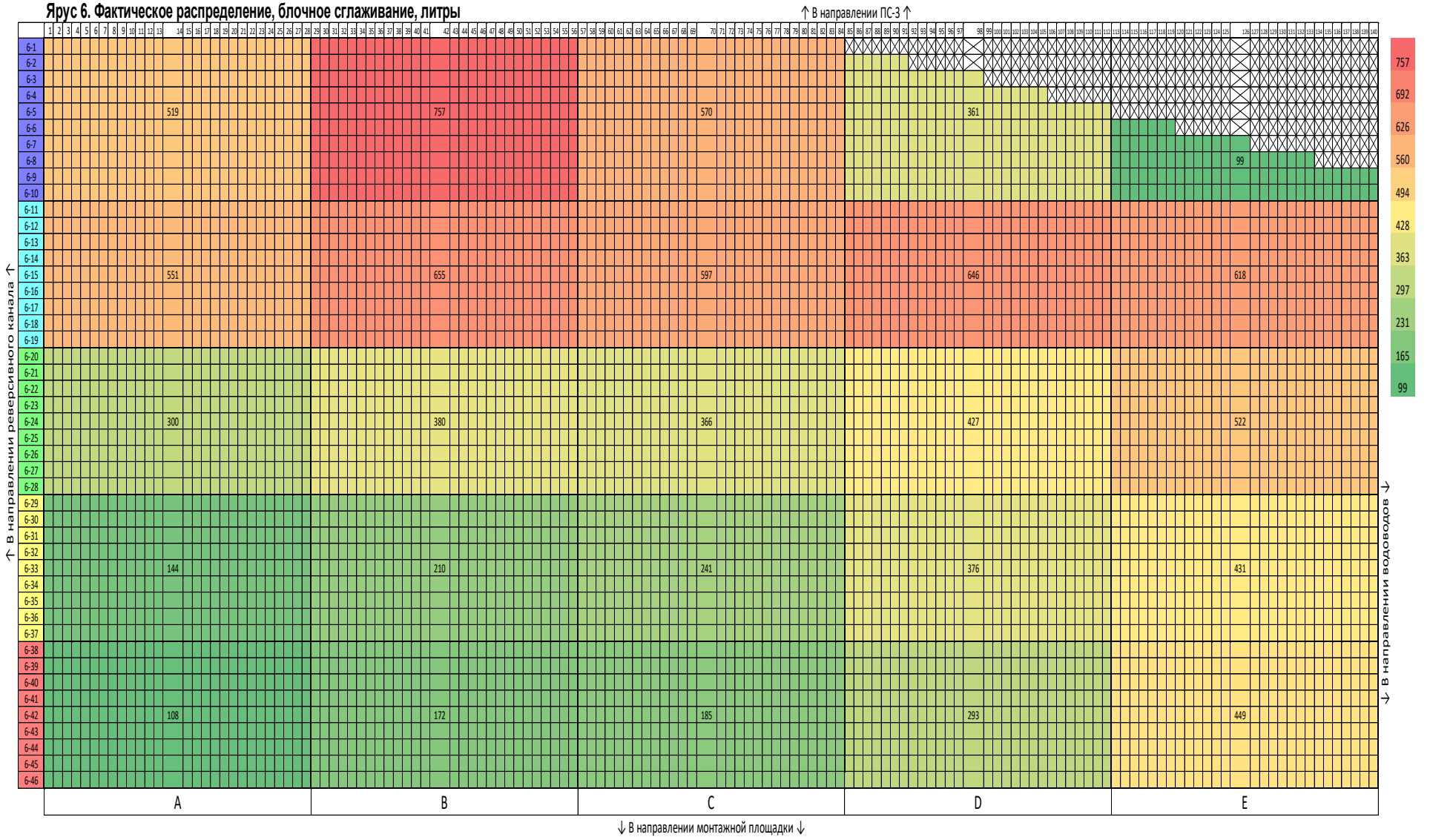

Ярус 6. Фактическое распределение, блочное сглаживание, литры
↑ В направлении ПС-3 ↑
↑ В направлении реверсивного канала ↑
↓ В направлении водоводов ↓
↓ В направлении монтажной площадки ↓
519
757
570
361
99
551
655
597
646
618
300
380
366
427
522
144
210
241
376
431
108
172
185
293
449
A
B
C
D
E
757
692
626
560
494
428
363
297
231
165
99

Рисунок В.1.6.

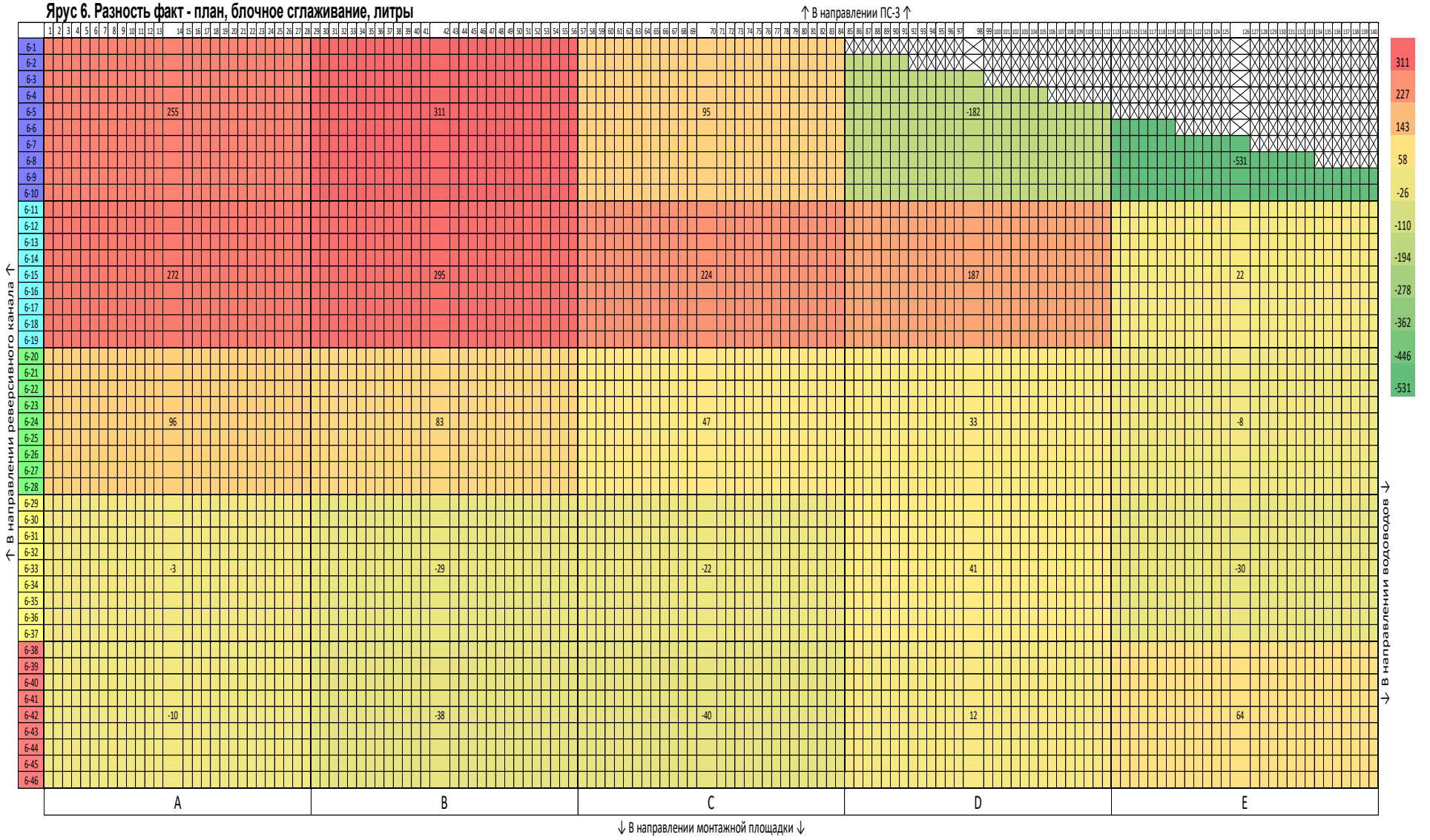

Ярус 6. Разность факт - план, блочное сглаживание, литры
↑ В направлении ПС-3 ↑
↑ В направлении реверсивного канала ↑
↓ В направлении водоводов ↓
↓ В направлении монтажной площадки ↓
A
B
C
D
E
255
311
95
-182
-531
272
295
224
187
22
96
83
47
33
-8
-3
-29
-22
41
-30
-10
-38
-40
12
64
311
227
143
58
-26
-110
-194
-278
-362
-446
-531

Рисунок В.1.7.

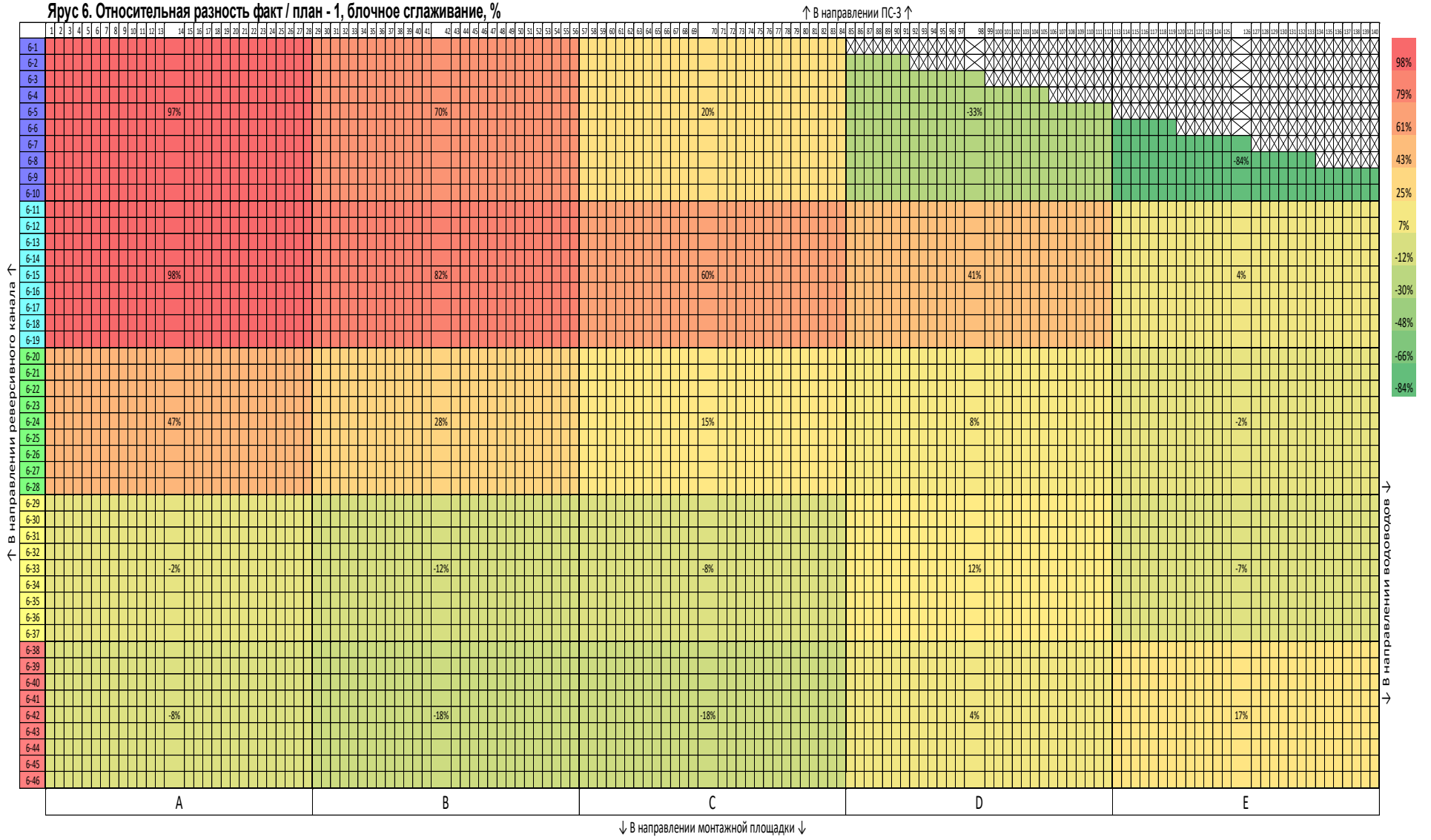

Ярус 6. Относительная разность факт / план - 1, блочное сглаживание, %
↑ В направлении ПС-3 ↑
↑ В направлении реверсивного канала ↑
↓ В направлении водоводов ↓
↓ В направлении монтажной площадки ↓
A
B
C
D
E
97%
70%
20%
-33%
-84%
98%
82%
60%
41%
4%
47%
28%
15%
8%
-2%
-2%
-12%
-8%
12%
-7%
-8%
-18%
-18%
4%
17%
98%
79%
61%
43%
25%
7%
-12%
-30%
-48%
-66%
-84%

Рисунок В.1.8.

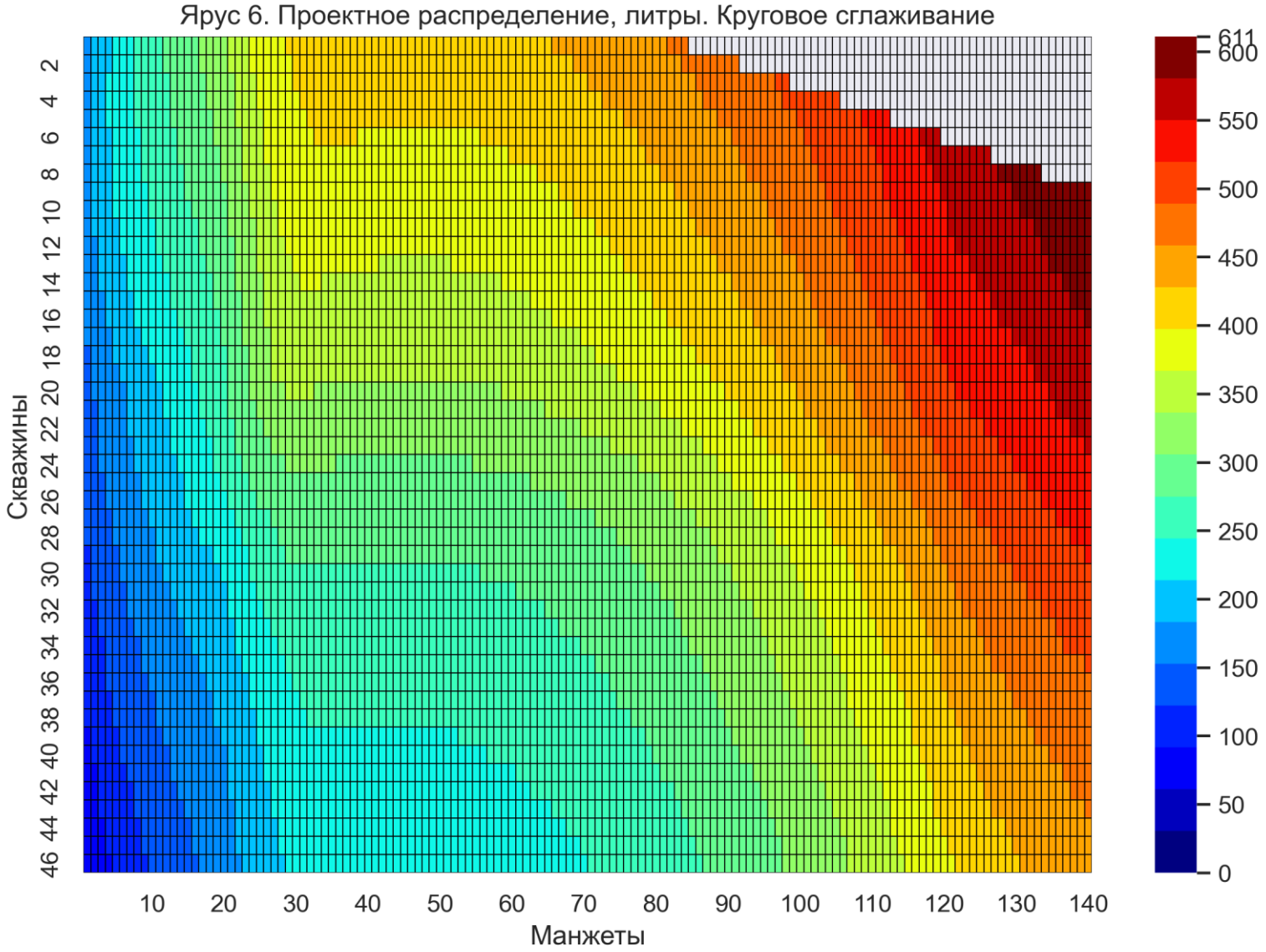

Ярус 6. Проектное распределение, литры. Круговое сглаживание
Скважины
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
36
38
40
42
44
46
Манжеты
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
611
600
550
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0

Рисунок В.1.9.

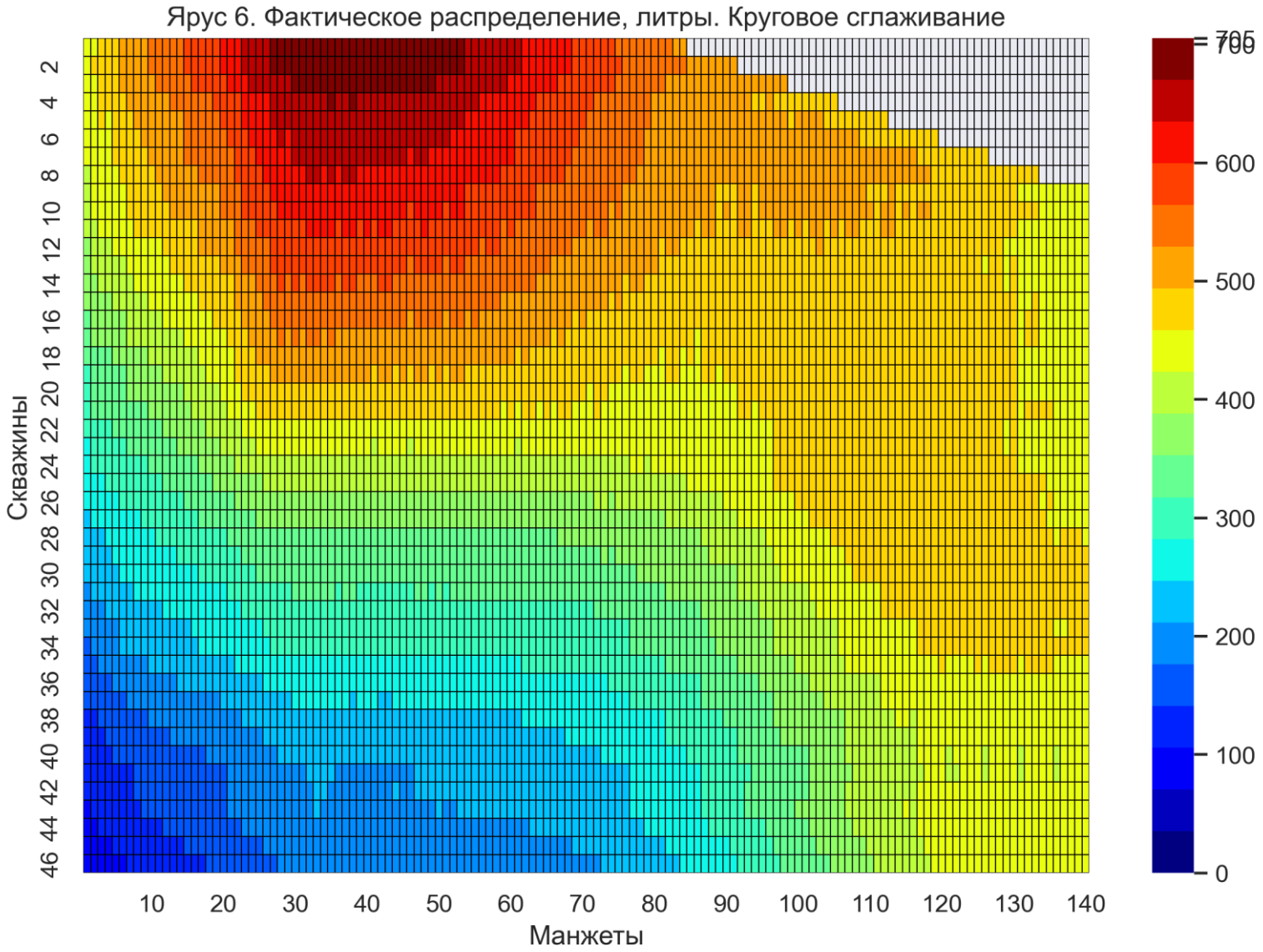


Рисунок В.1.10.

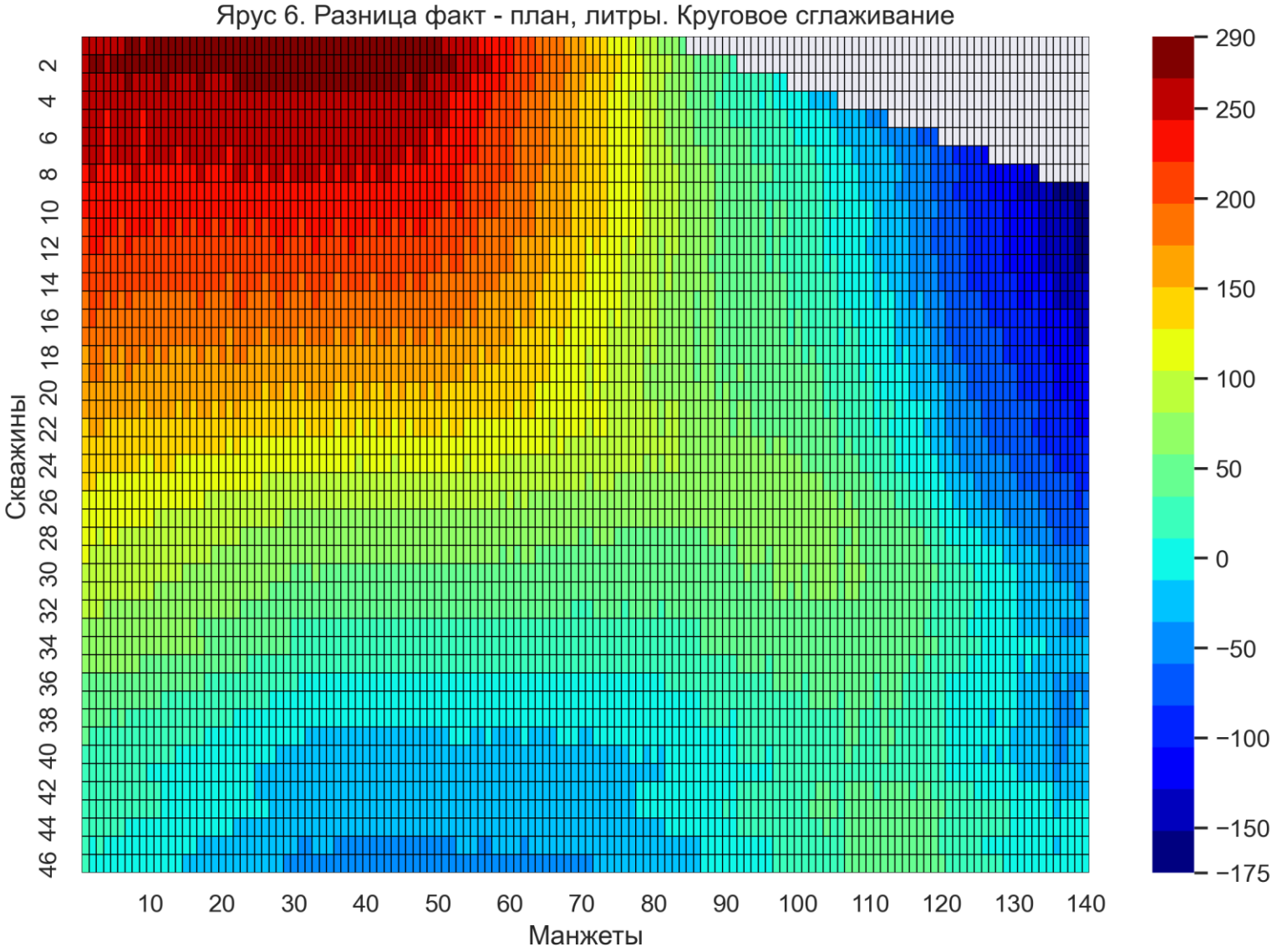


Рисунок В.1.11.

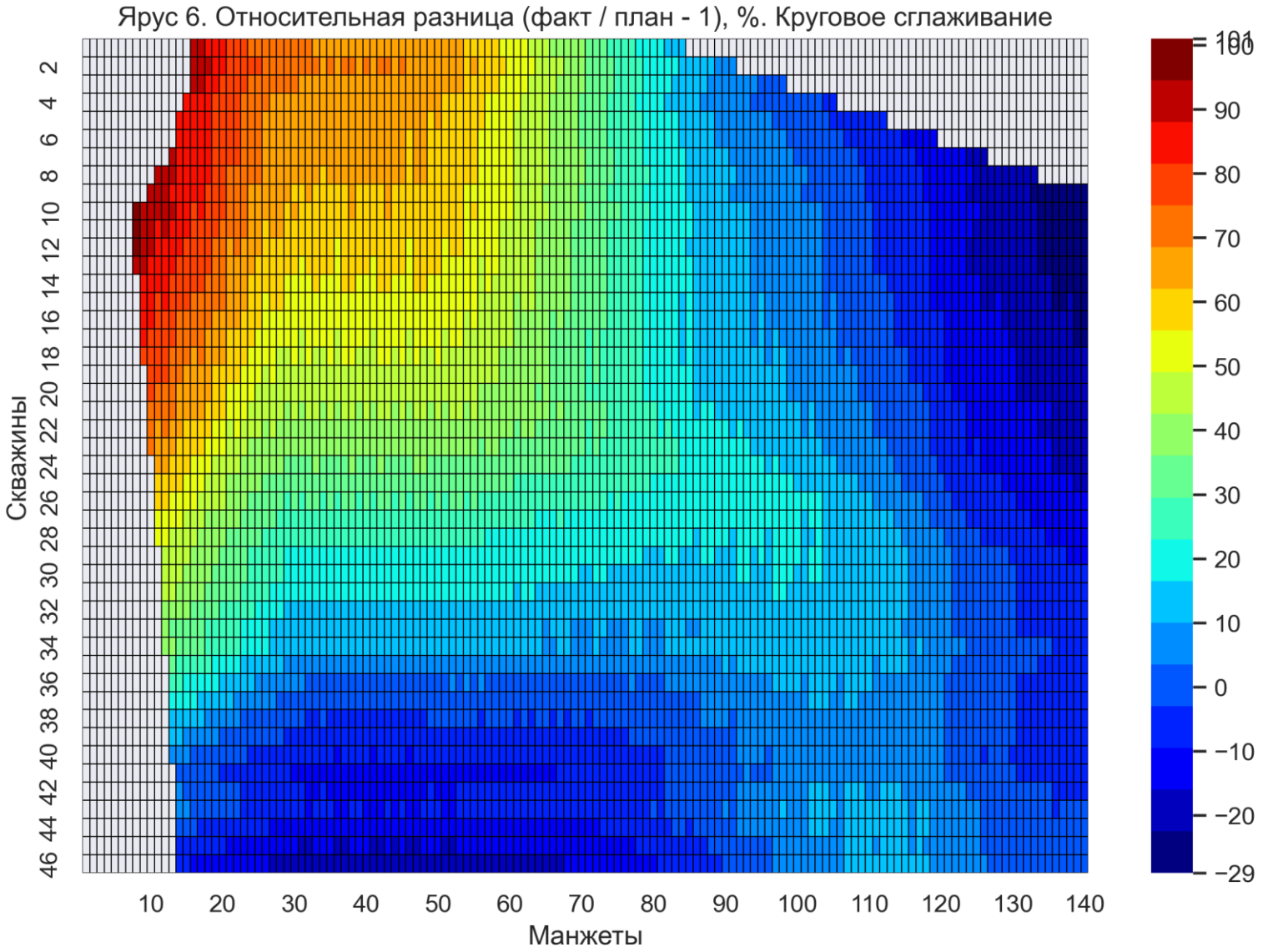


Рисунок В.1.12.

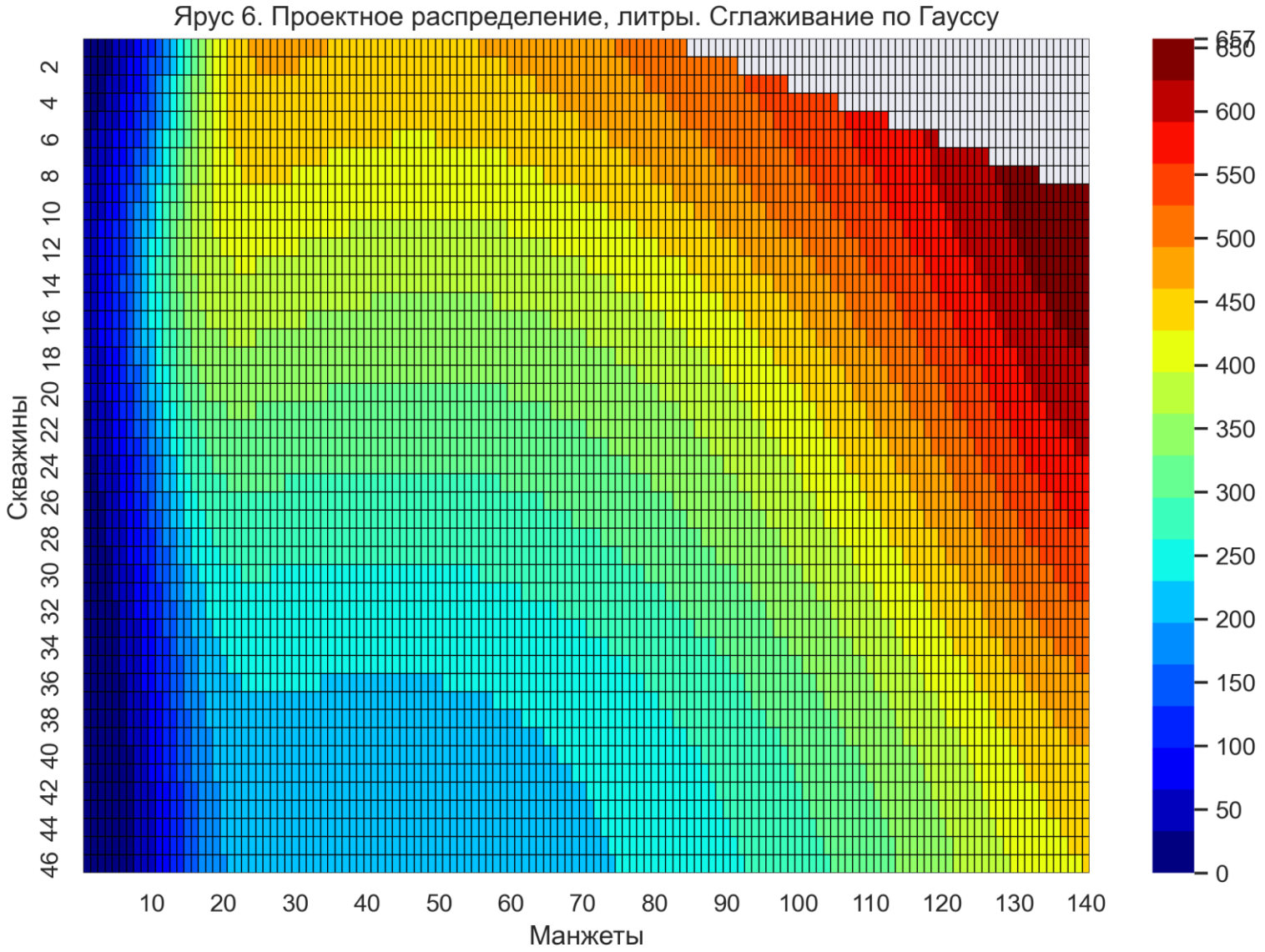


Рисунок В.1.13.

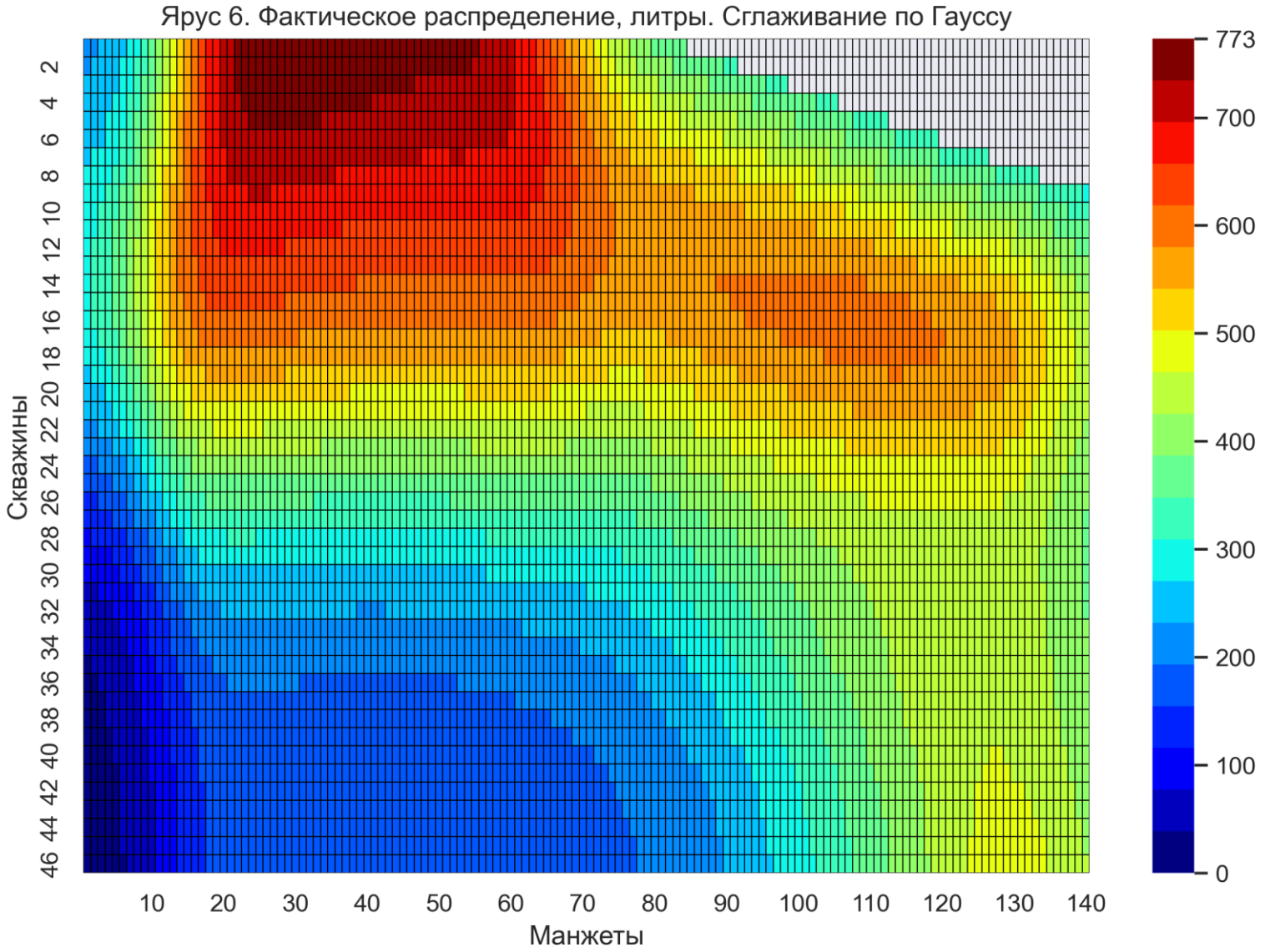


Рисунок В.1.14.

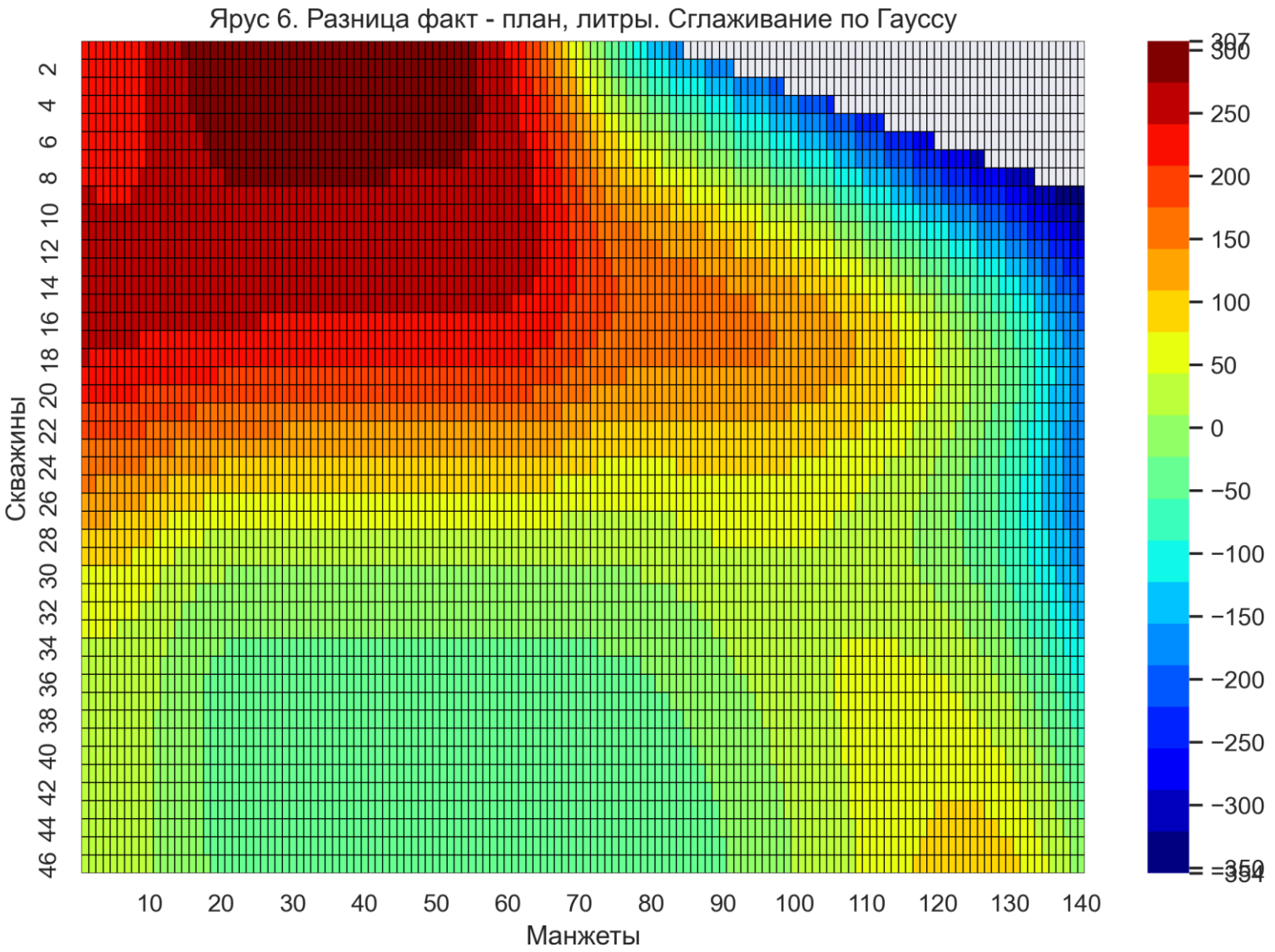


Рисунок В.1.15.

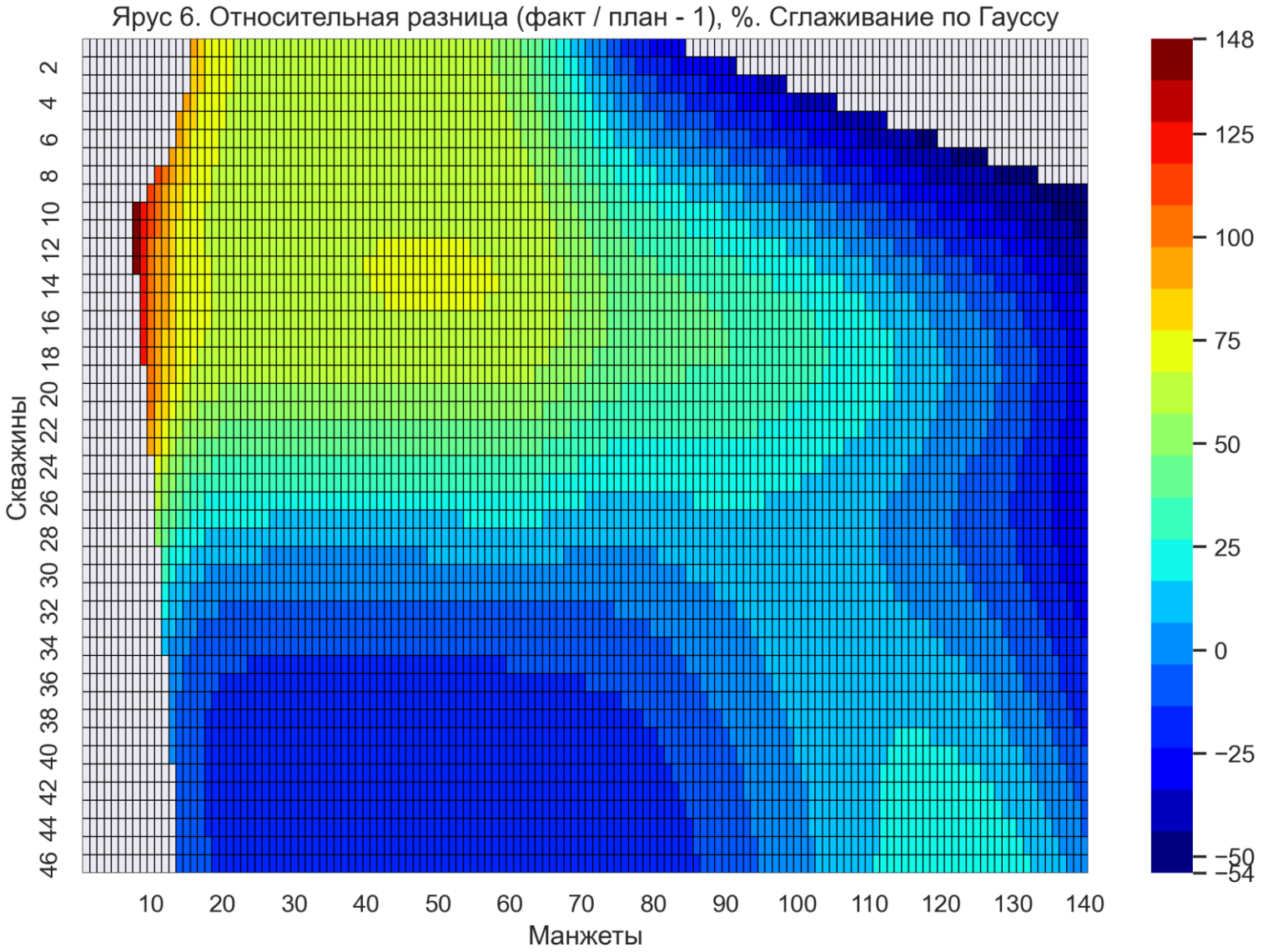


Рисунок В.1.16.

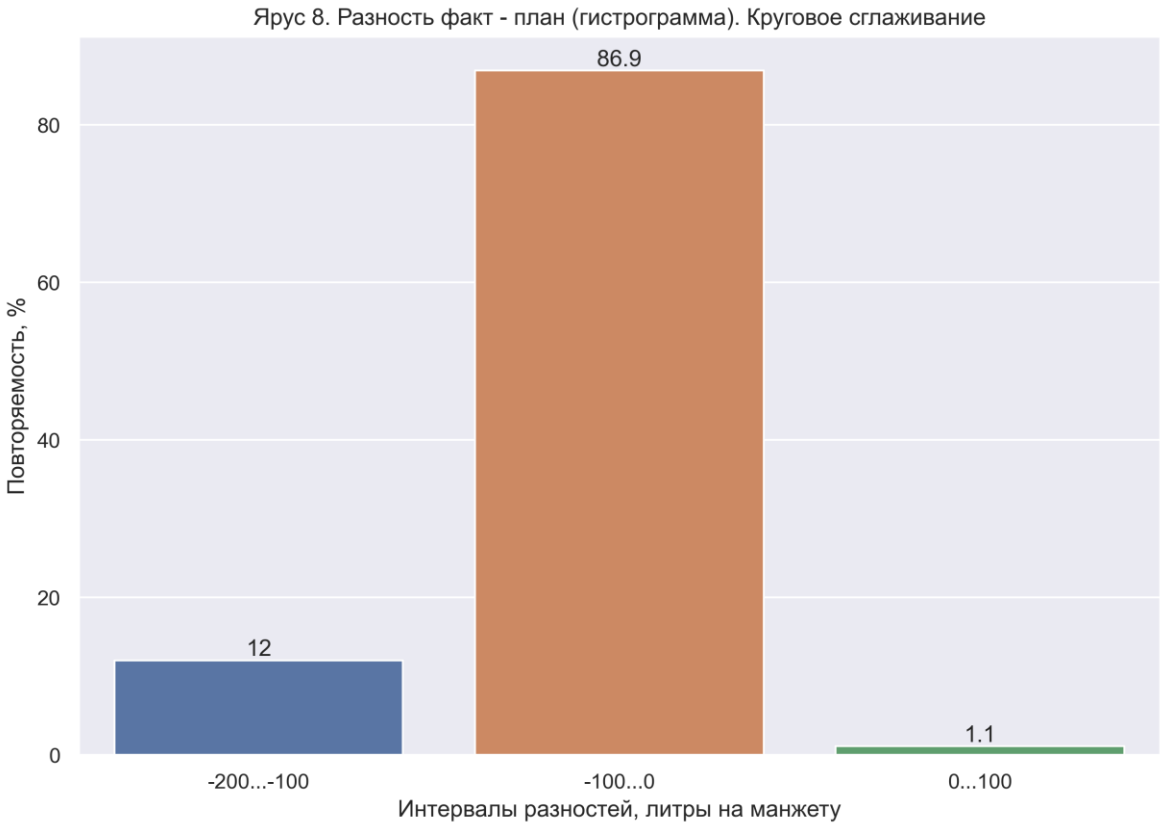


Рисунок В.1.17.

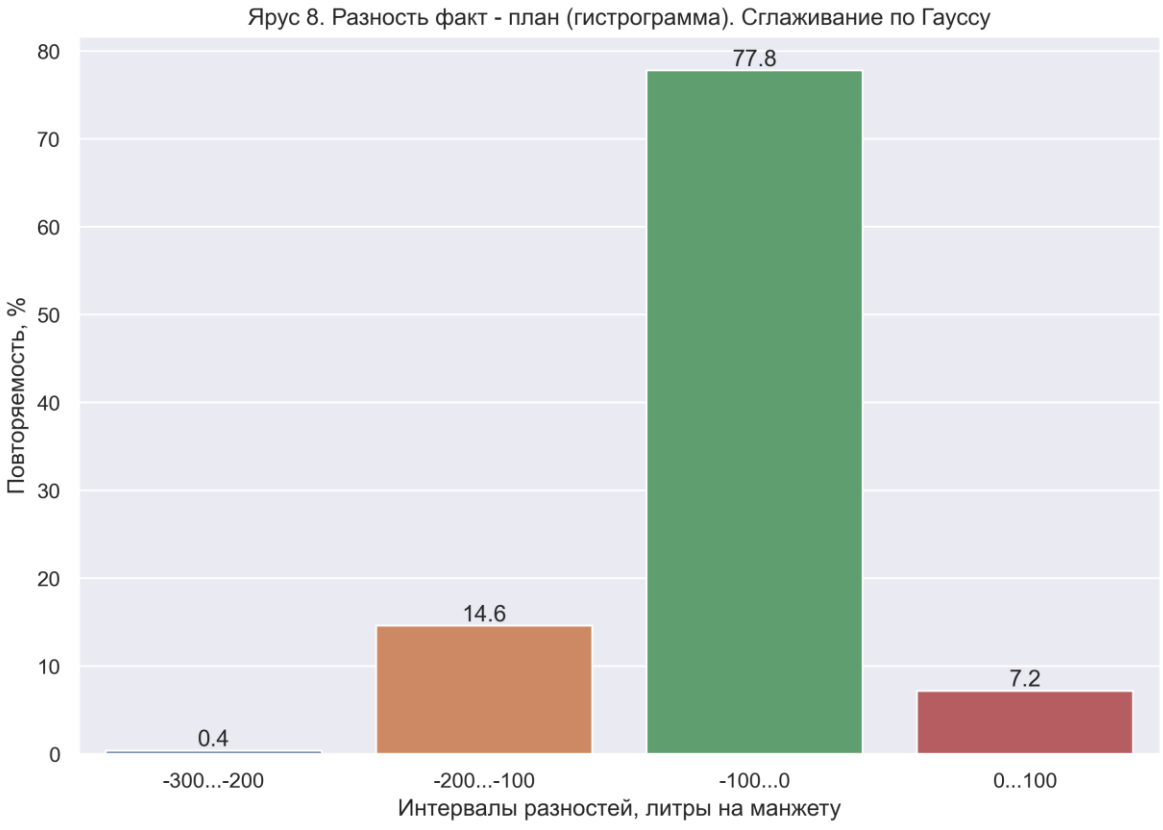


Рисунок В.1.18.

В.2. Результаты сопоставления по ярусам 8, 7 и 6 суммарно

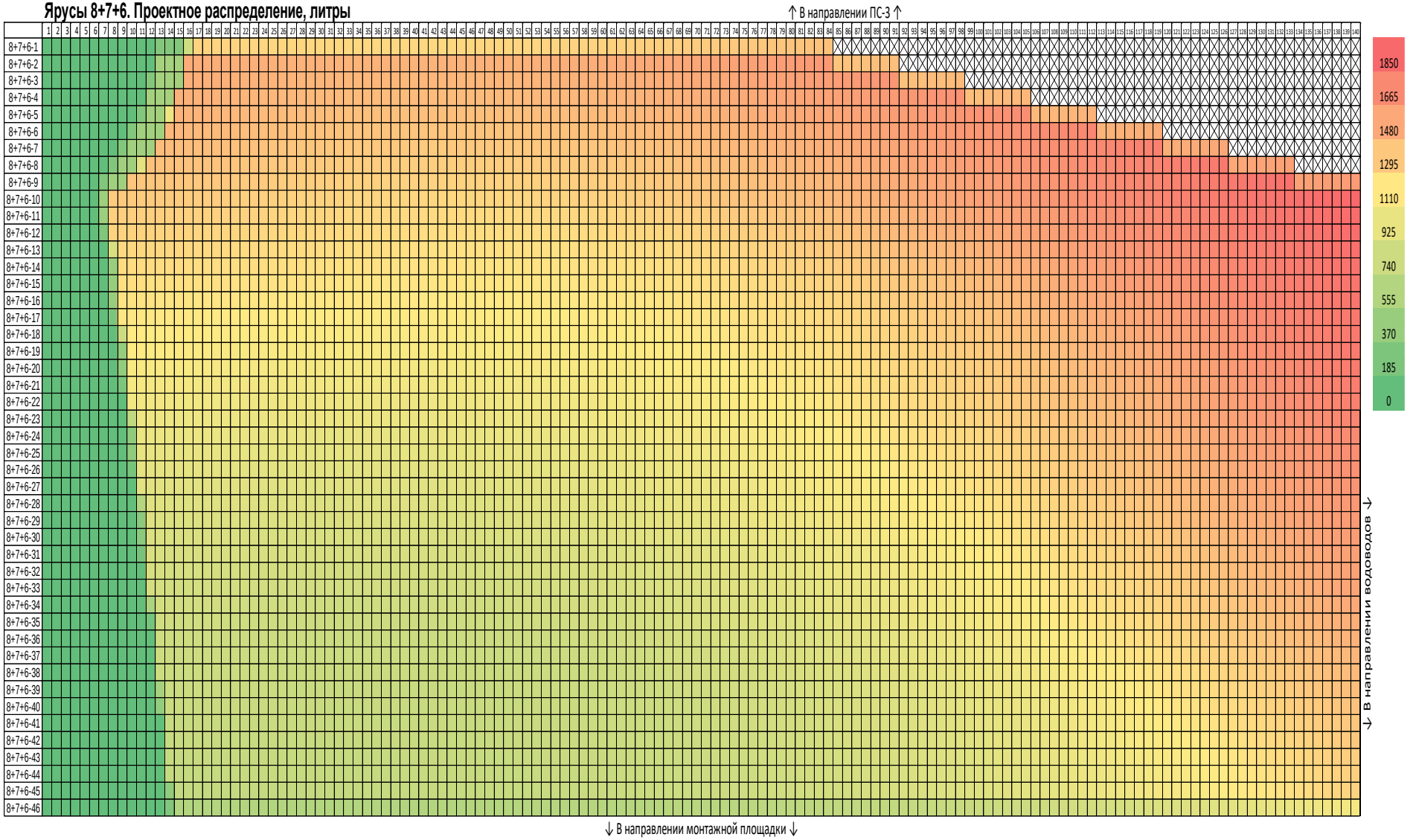


Рисунок В.2.1.

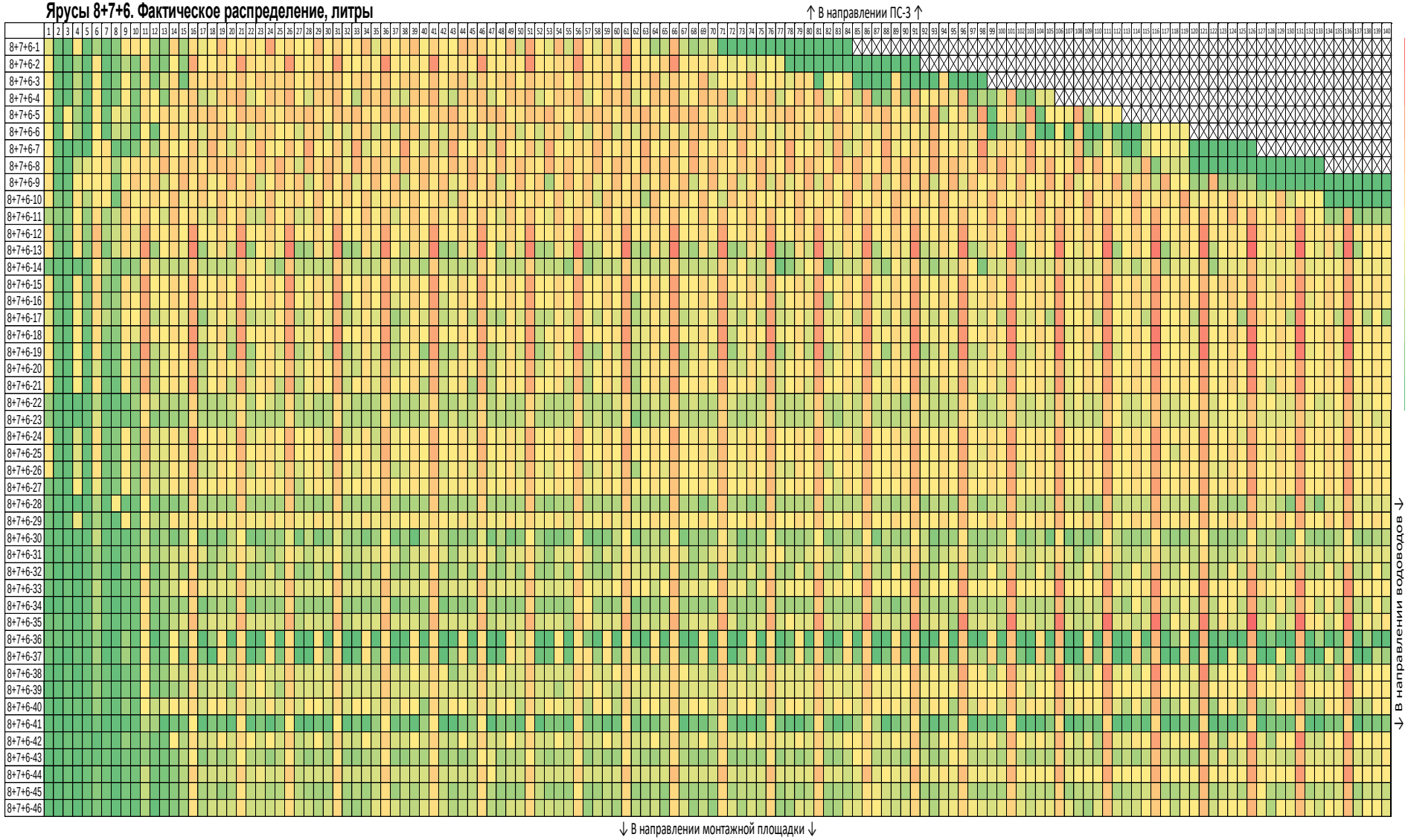

Ярусы 8+7+6. Фактическое распределение, литры
↑ В направлении ПС-3 ↑
8+7+6-1
8+7+6-2
8+7+6-3
8+7+6-4
8+7+6-5
8+7+6-6
8+7+6-7
8+7+6-8
8+7+6-9
8+7+6-10
8+7+6-11
8+7+6-12
8+7+6-13
8+7+6-14
8+7+6-15
8+7+6-16
8+7+6-17
8+7+6-18
8+7+6-19
8+7+6-20
8+7+6-21
8+7+6-22
8+7+6-23
8+7+6-24
8+7+6-25
8+7+6-26
8+7+6-27
8+7+6-28
8+7+6-29
8+7+6-30
8+7+6-31
8+7+6-32
8+7+6-33
8+7+6-34
8+7+6-35
8+7+6-36
8+7+6-37
8+7+6-38
8+7+6-39
8+7+6-40
8+7+6-41
8+7+6-42
8+7+6-43
8+7+6-44
8+7+6-45
8+7+6-46
↓ В направлении водоводов ↓
↓ В направлении монтажной площадки ↓

Рисунок В.2.2.

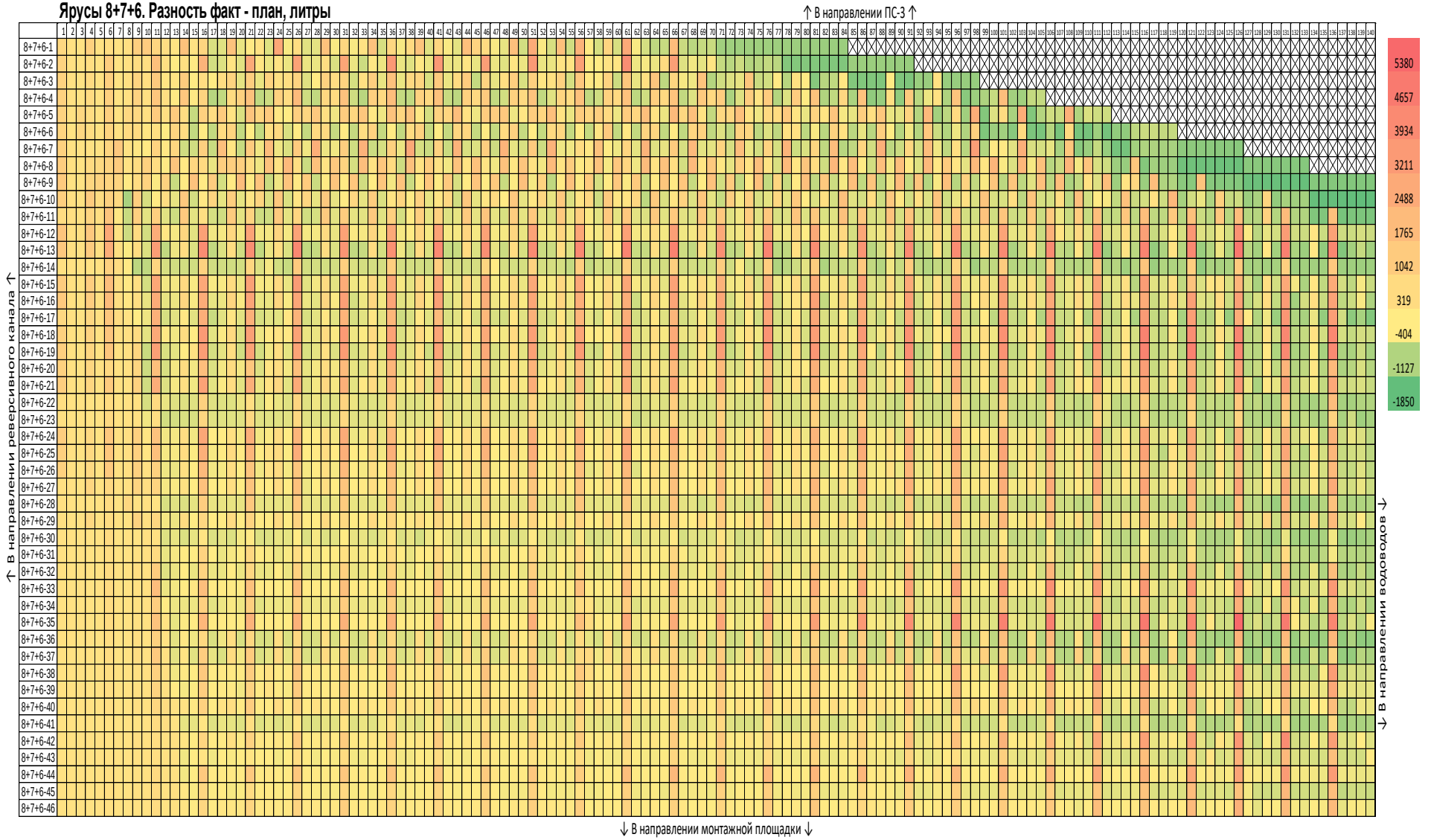

Ярусы 8+7+6. Разность факт - план, литры
↑ В направлении ПС-3 ↑
↑ В направлении реверсивного канала ↑
↓ В направлении водоводов ↓
↓ В направлении монтажной площадки ↓
5380
4657
3934
3211
2488
1765
1042
319
-404
-1127
-1850

Рисунок В.2.3.

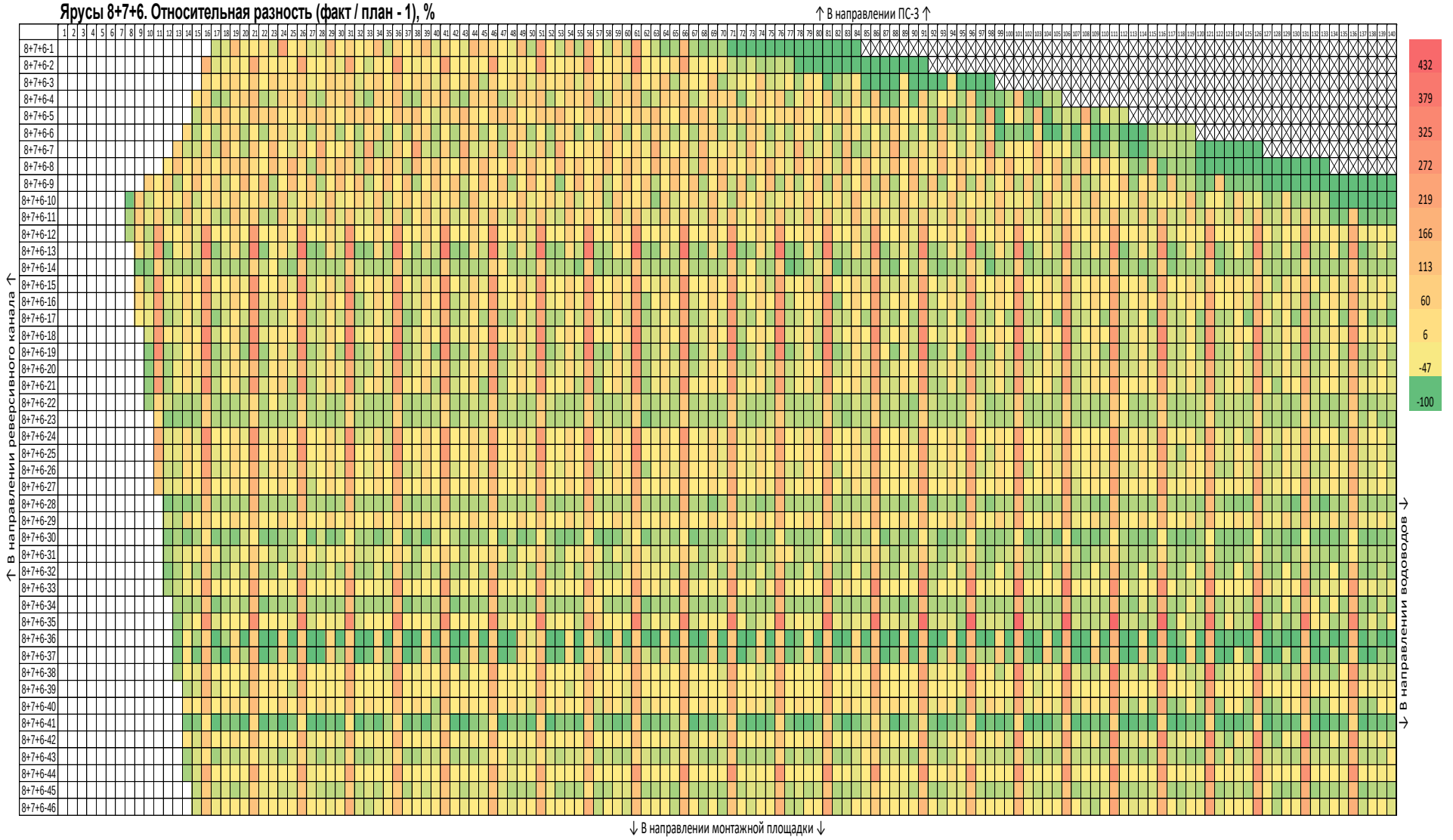

Ярусы 8+7+6. Относительная разность (факт / план - 1), %
↑ В направлении ПС-3 ↑
↑ В направлении реверсивного канала ↑
↓ В направлении водоводов ↓
↓ В направлении монтажной площадки ↓
8+7+6-1
8+7+6-2
8+7+6-3
8+7+6-4
8+7+6-5
8+7+6-6
8+7+6-7
8+7+6-8
8+7+6-9
8+7+6-10
8+7+6-11
8+7+6-12
8+7+6-13
8+7+6-14
8+7+6-15
8+7+6-16
8+7+6-17
8+7+6-18
8+7+6-19
8+7+6-20
8+7+6-21
8+7+6-22
8+7+6-23
8+7+6-24
8+7+6-25
8+7+6-26
8+7+6-27
8+7+6-28
8+7+6-29
8+7+6-30
8+7+6-31
8+7+6-32
8+7+6-33
8+7+6-34
8+7+6-35
8+7+6-36
8+7+6-37
8+7+6-38
8+7+6-39
8+7+6-40
8+7+6-41
8+7+6-42
8+7+6-43
8+7+6-44
8+7+6-45
8+7+6-46
432
379
325
272
219
166
113
60
6
-47
-100

Рисунок В.2.4.

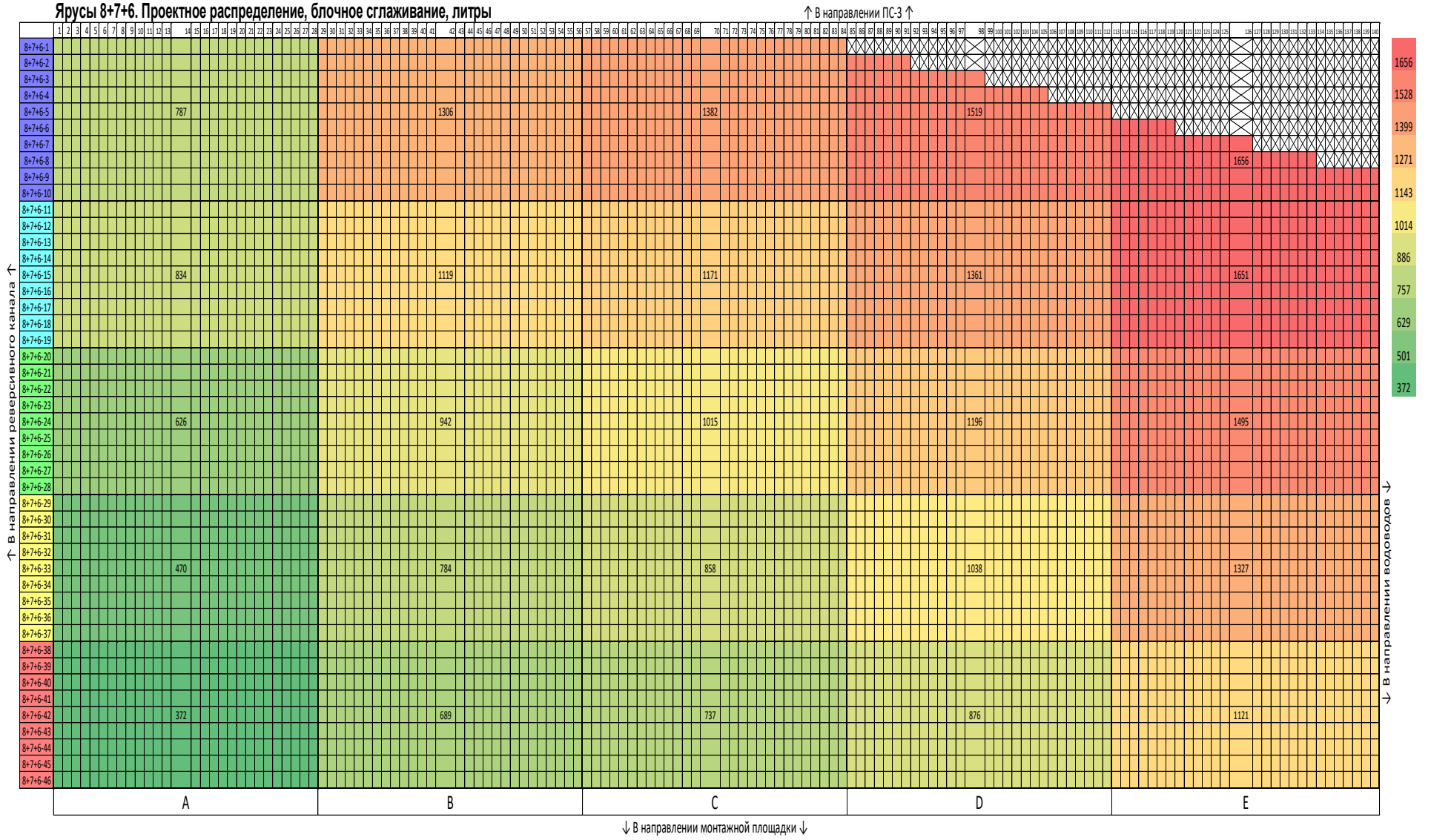

Ярусы 8+7+6. Проектное распределение, блочное сглаживание, литры
↑ В направлении ПС-3 ↑
← В направлении реверсивного канала ←
→ В направлении водоводов →
↓ В направлении монтажной площадки ↓
787
1306
1382
1519
1656
834
1119
1171
1361
1651
626
942
1015
1196
1495
470
784
858
1038
1327
372
689
737
876
1121
1656
1528
1399
1271
1143
1014
886
757
629
501
372
A
B
C
D
E

Рисунок В.2.5.

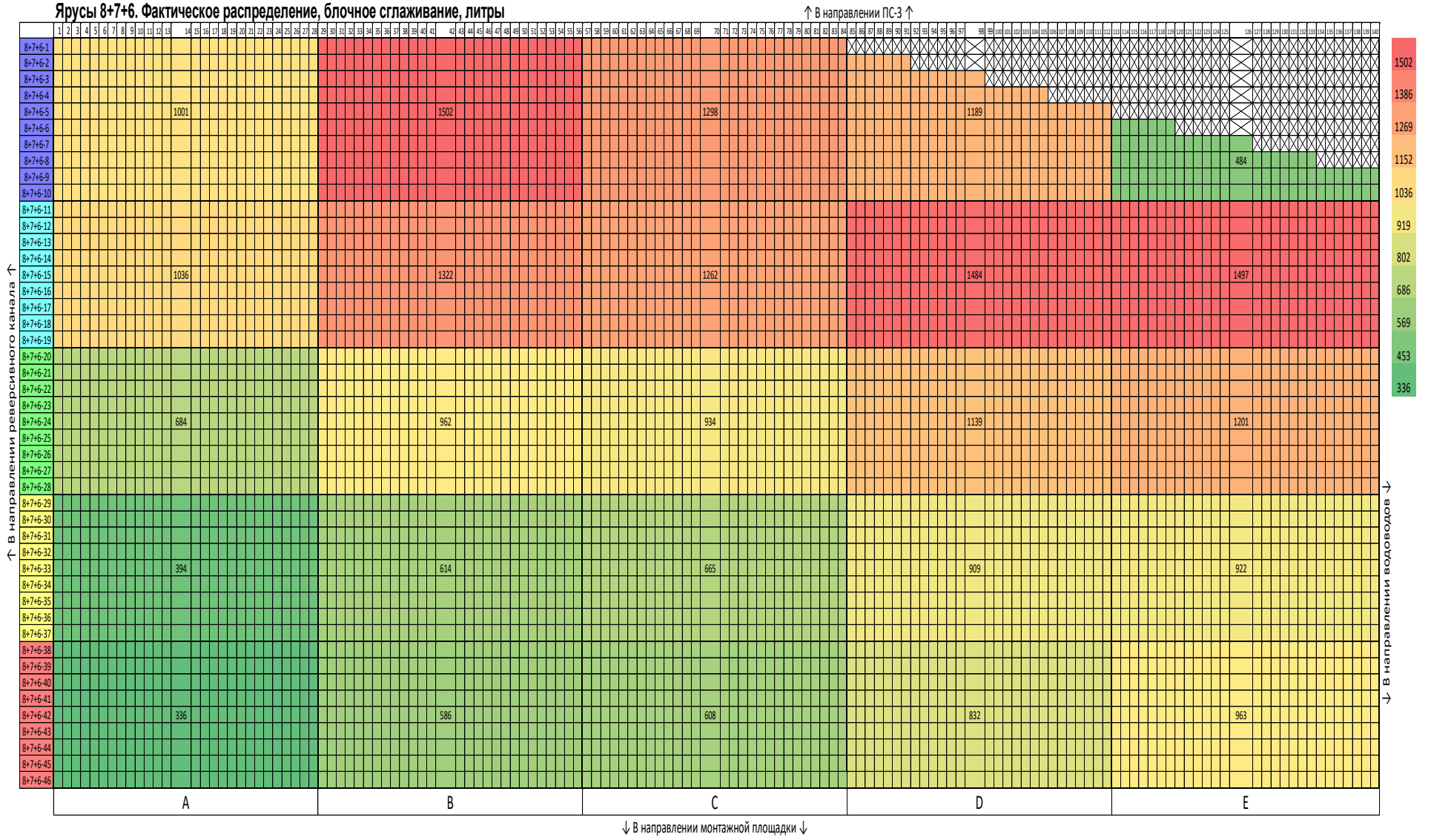

Ярусы 8+7+6. Фактическое распределение, блочное сглаживание, литры
↑ В направлении ПС-3 ↑
↑ В направлении реверсивного канала ↑
↓ В направлении водоводов ↓
↓ В направлении монтажной площадки ↓
A
B
C
D
E
1001
1502
1298
1189
484
1036
1322
1262
1484
1497
684
962
934
1139
1201
394
614
665
909
922
336
586
608
832
963
1502
1386
1269
1152
1036
919
802
686
569
453
336

Рисунок В.2.6.


Ярусы 8+7+6. Разность факт - план, блочное сглаживание, литры
↑ В направлении ПС-3 ↑
↑ В направлении реверсивного канала ↑
↓ В направлении водоводов ↓
↓ В направлении монтажной площадки ↓
A
B
C
D
E
214
75
-64
-202
-341
-479
-618
-757
-895
-1034
-1172
214
196
-83
-329
-1172
202
203
92
122
-155
58
20
-81
-56
-294
-76
-169
-194
-130
-405
-36
-103
-129
-44
-158

Рисунок В.2.7.

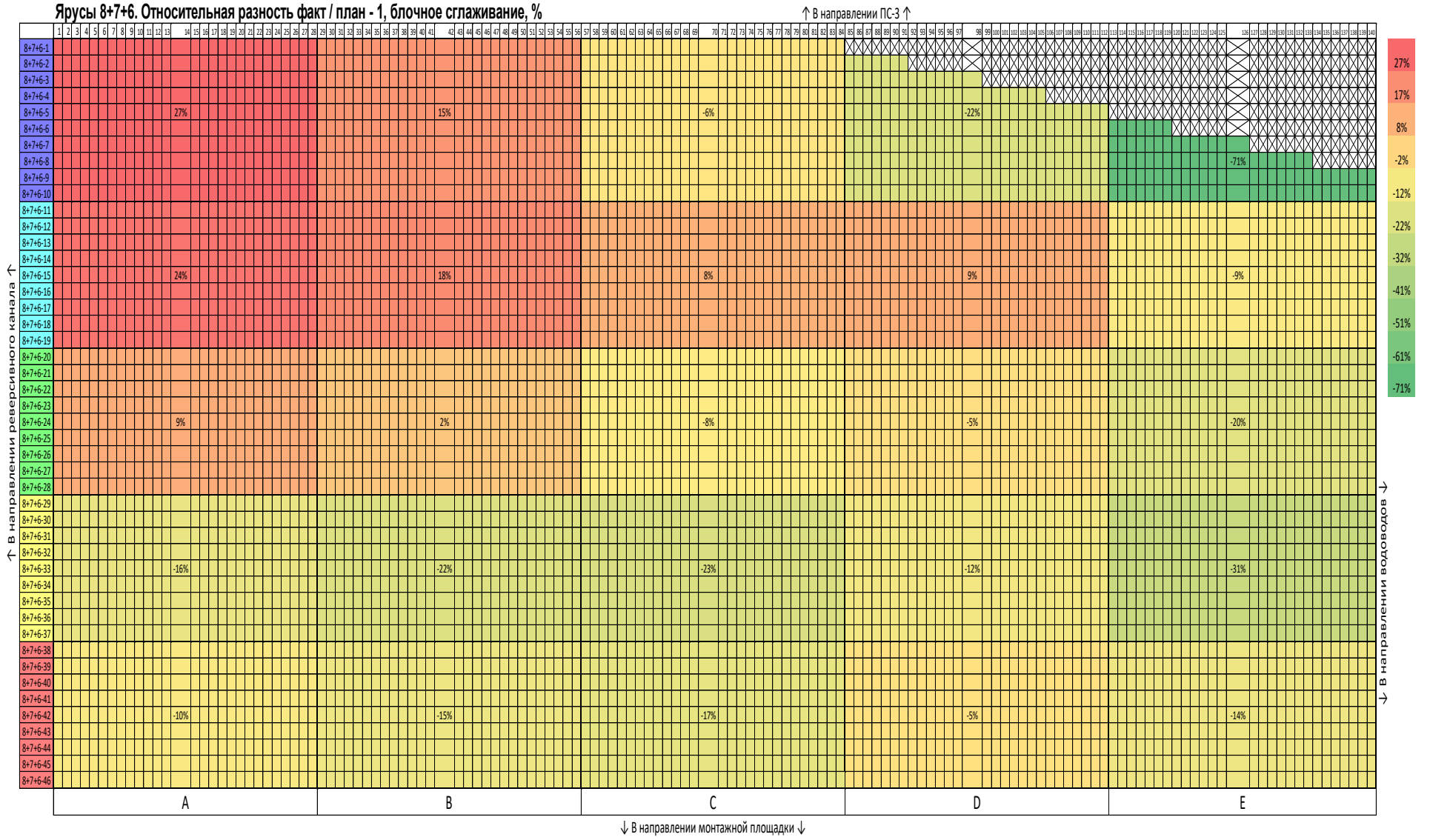

Ярусы 8+7+6. Относительная разность факт / план - 1, блочное сглаживание, %
↑ В направлении ПС-3 ↑
↑ В направлении реверсивного канала ↑
↓ В направлении водоводов ↓
↓ В направлении монтажной площадки ↓
A
B
C
D
E
27%
15%
-6%
-22%
-71%
24%
18%
8%
9%
-9%
9%
2%
-8%
-5%
-20%
-16%
-22%
-23%
-12%
-31%
-10%
-15%
-17%
-5%
-14%
27%
17%
8%
-2%
-12%
-22%
-32%
-41%
-51%
-61%
-71%

Рисунок В.2.8.

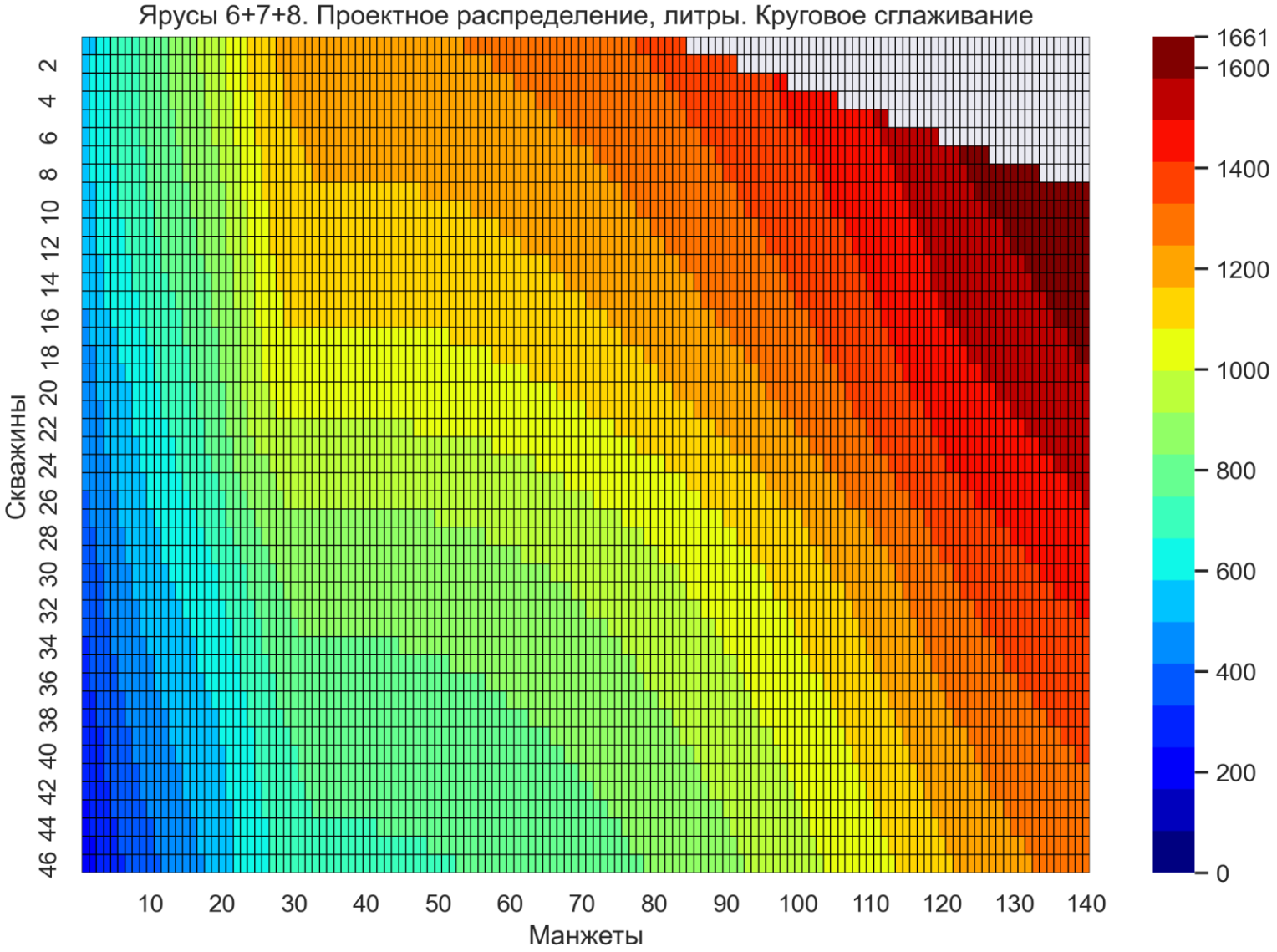

Ярусы 6+7+8. Проектное распределение, литры. Круговое сглаживание
Скважины
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
36
38
40
42
44
46
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
Манжеты
1661
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0

Рисунок В.2.9.

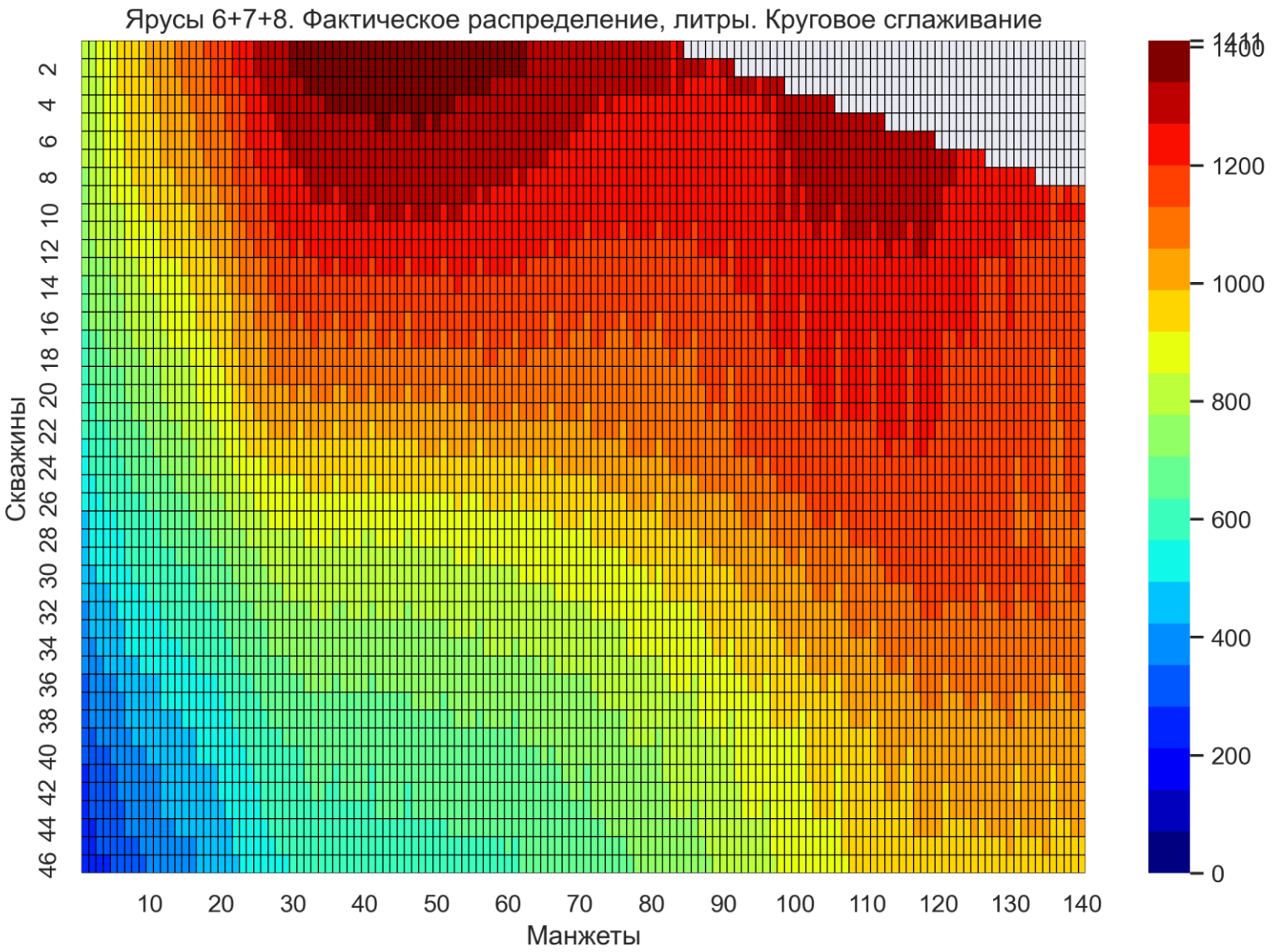


Рисунок В.2.10.

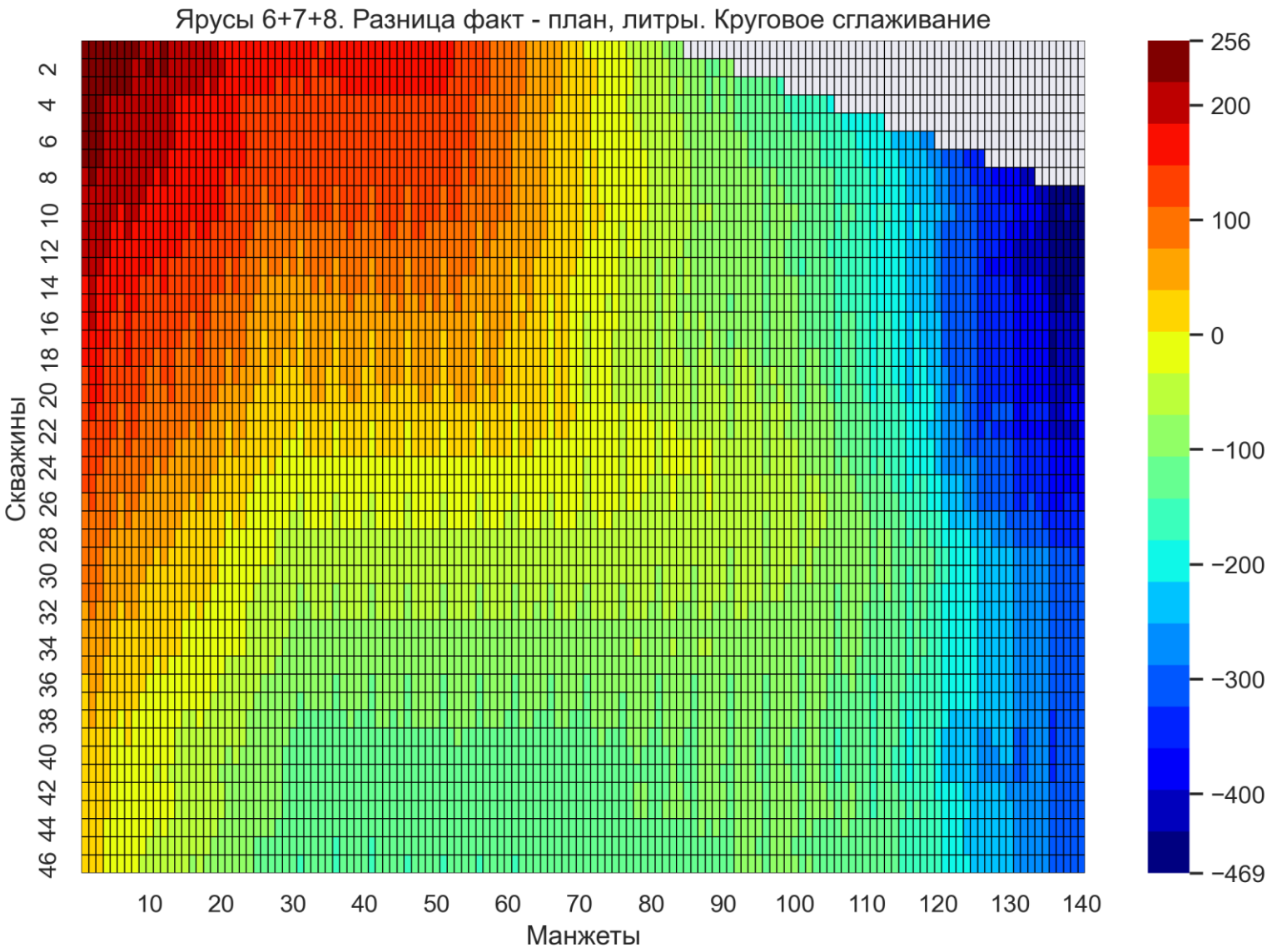


Рисунок В.2.11.

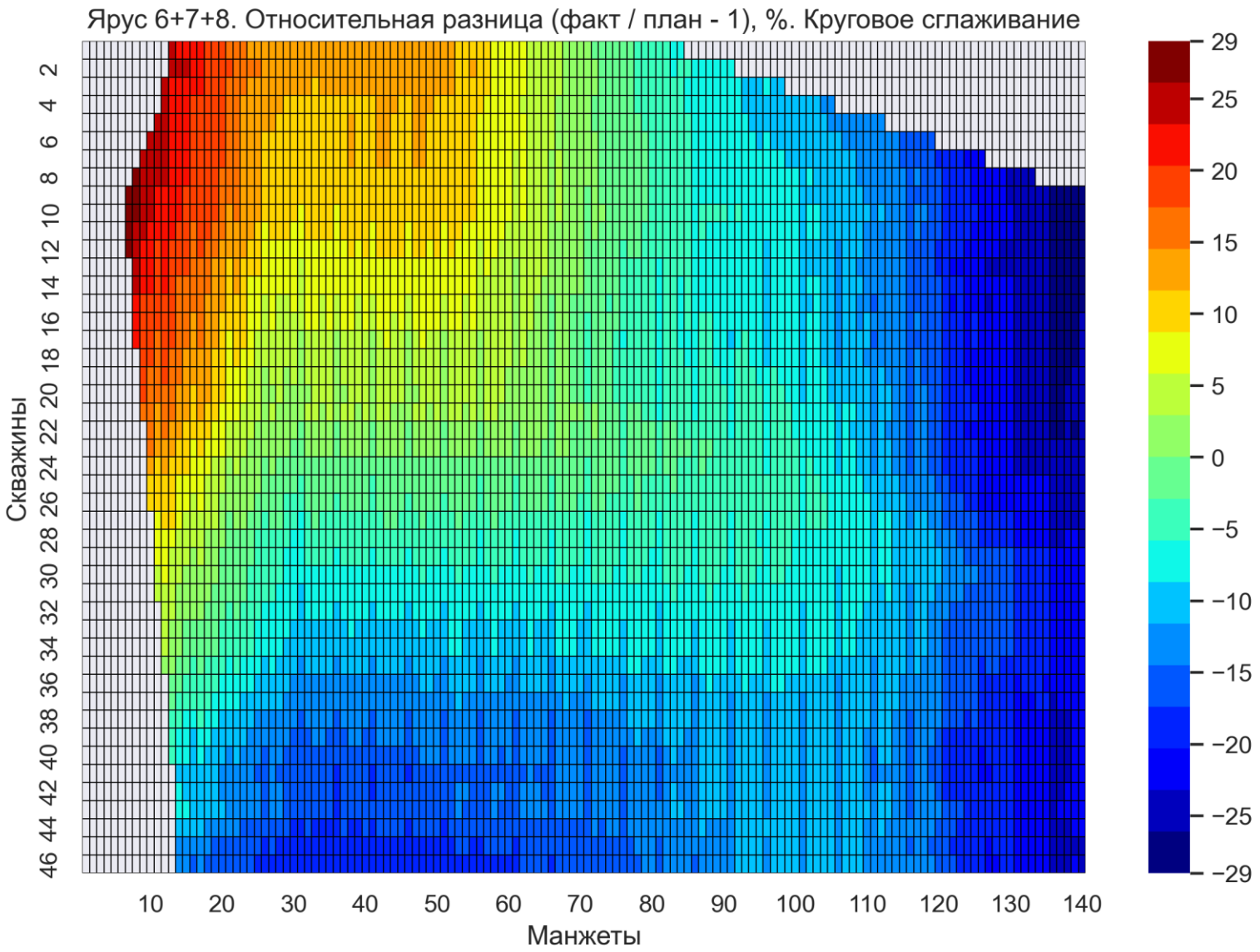


Рисунок В.2.12.

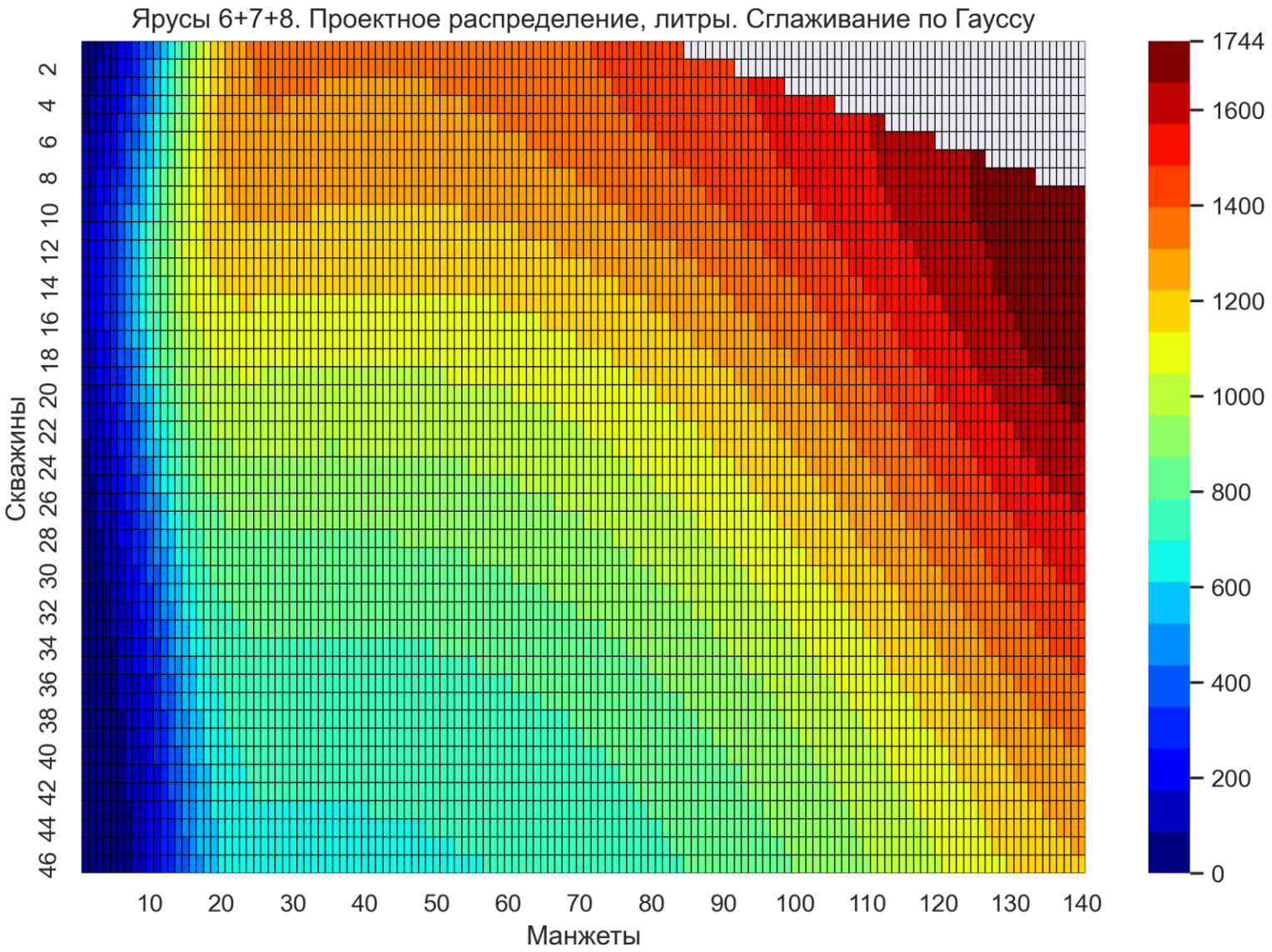


Рисунок В.2.13.

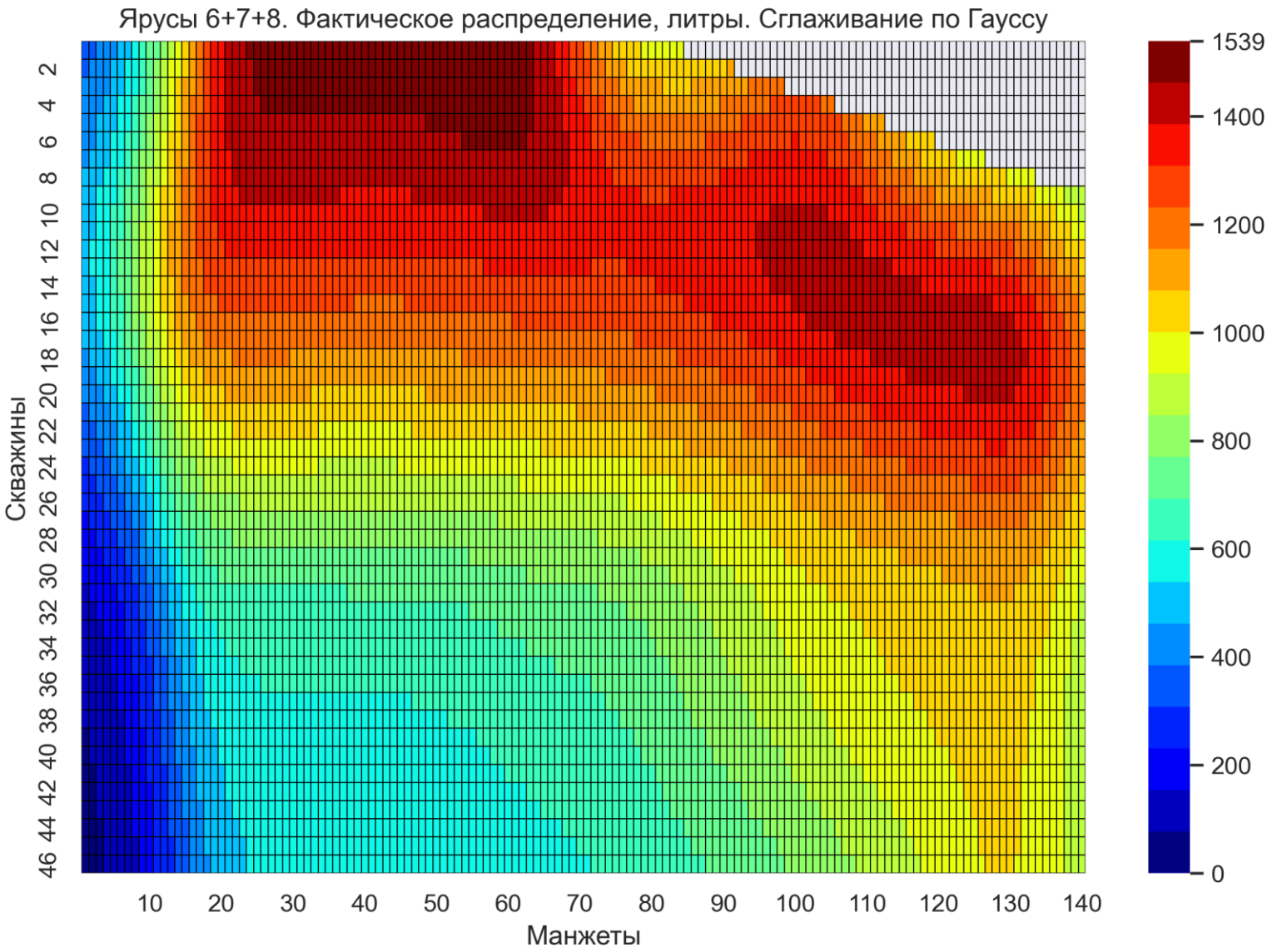


Рисунок В.2.14.

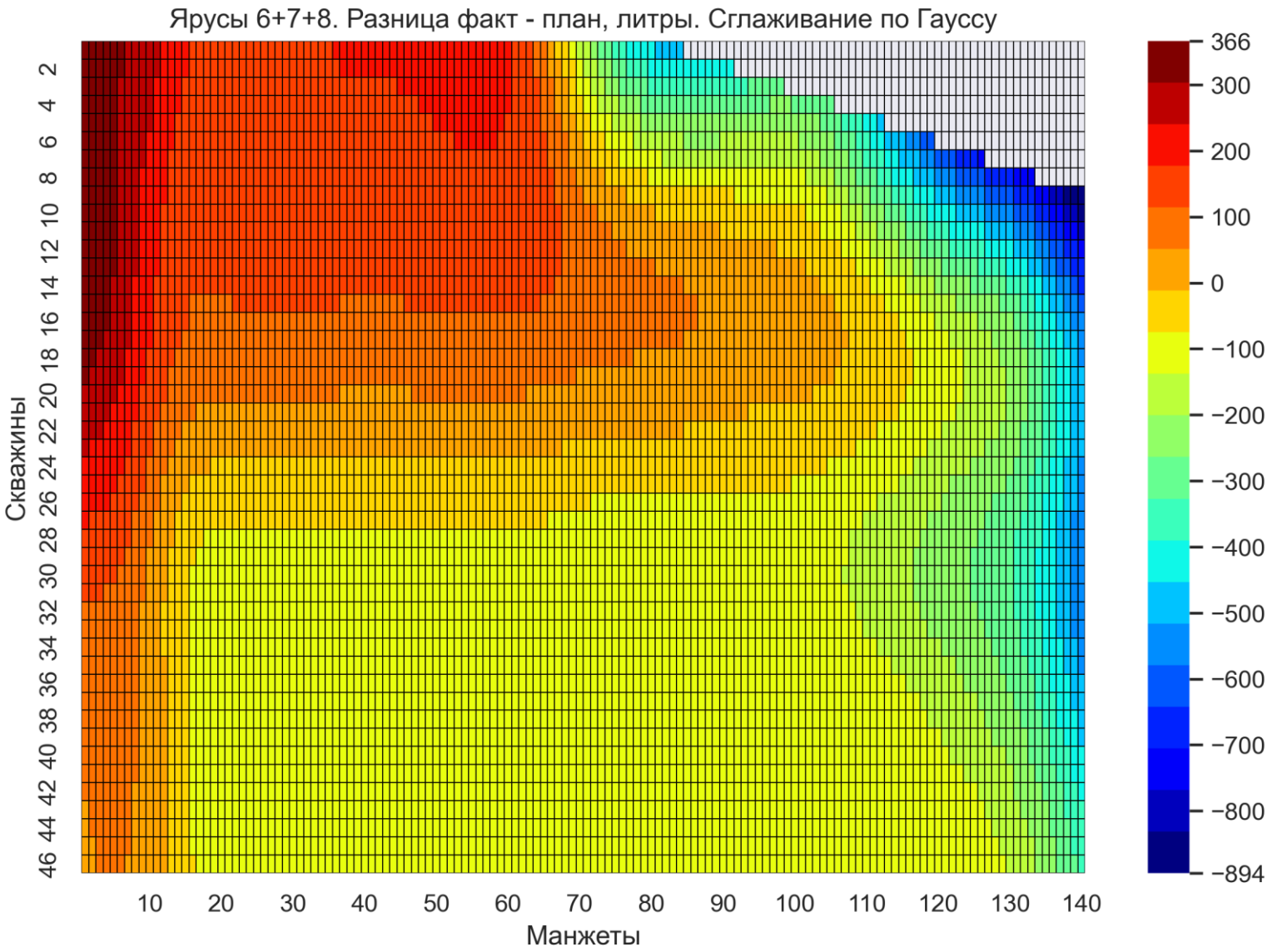


Рисунок В.2.15.

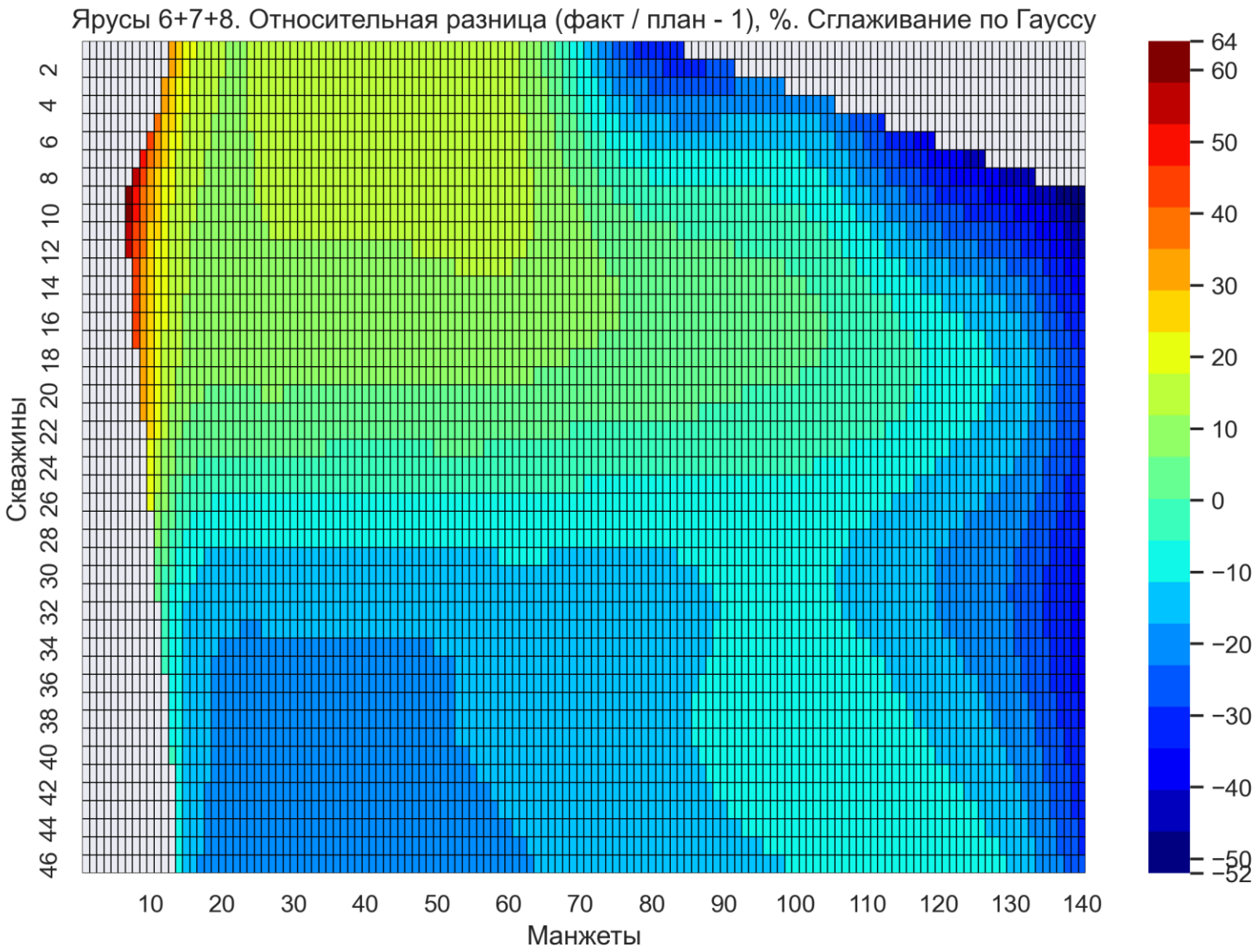


Рисунок В.2.16.

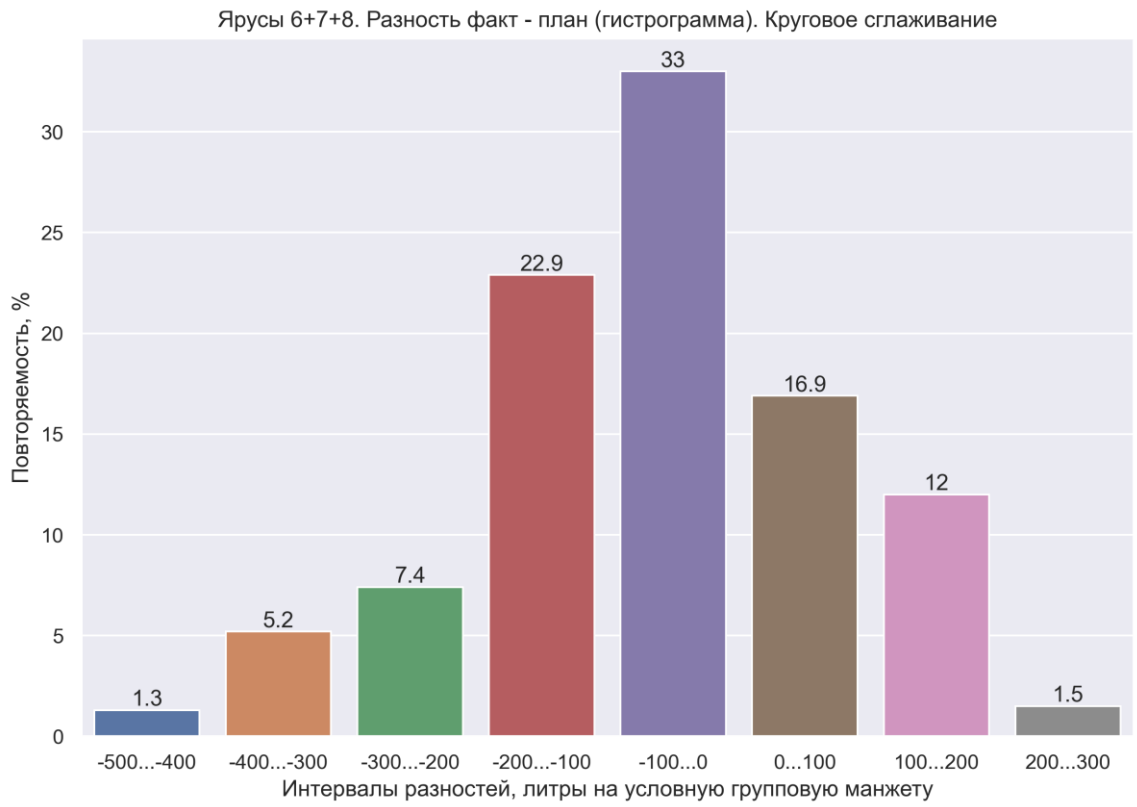


Рисунок В.2.17.

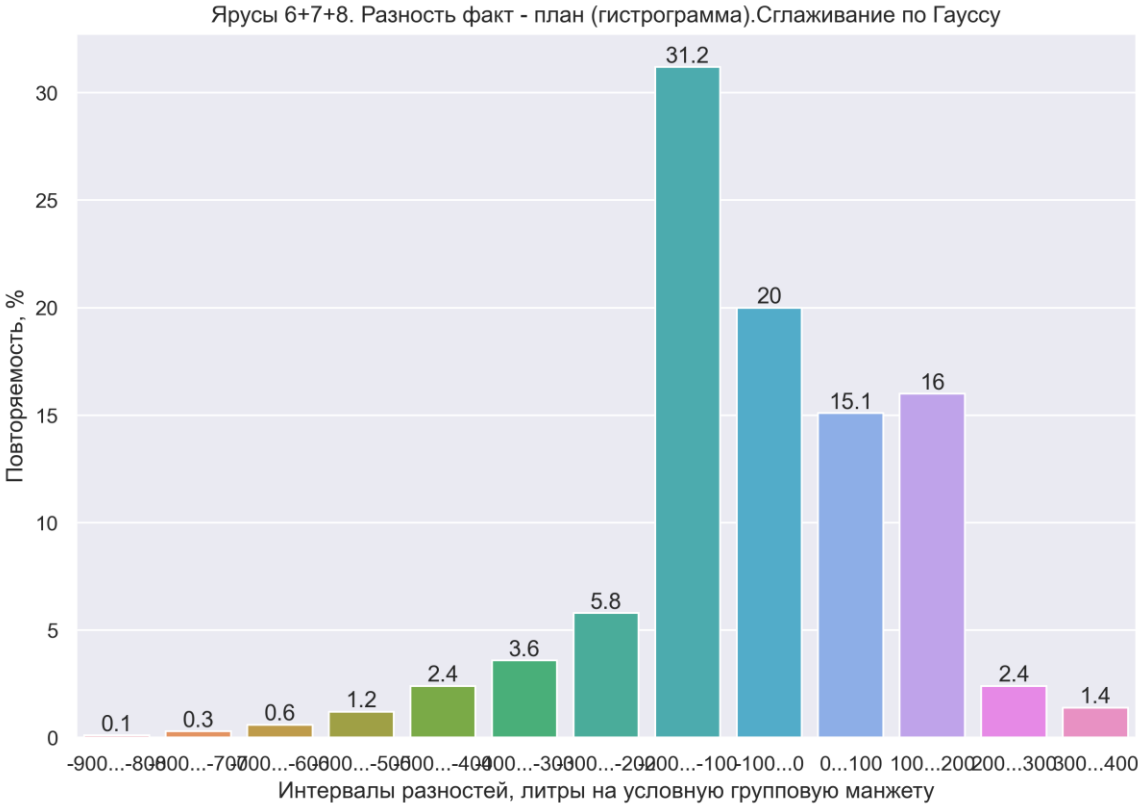


Рисунок В.2.18.

В.3. Результаты сопоставления по ярусу 5 (накопленные распределения по сменным заданиям на апрель 2023 года)

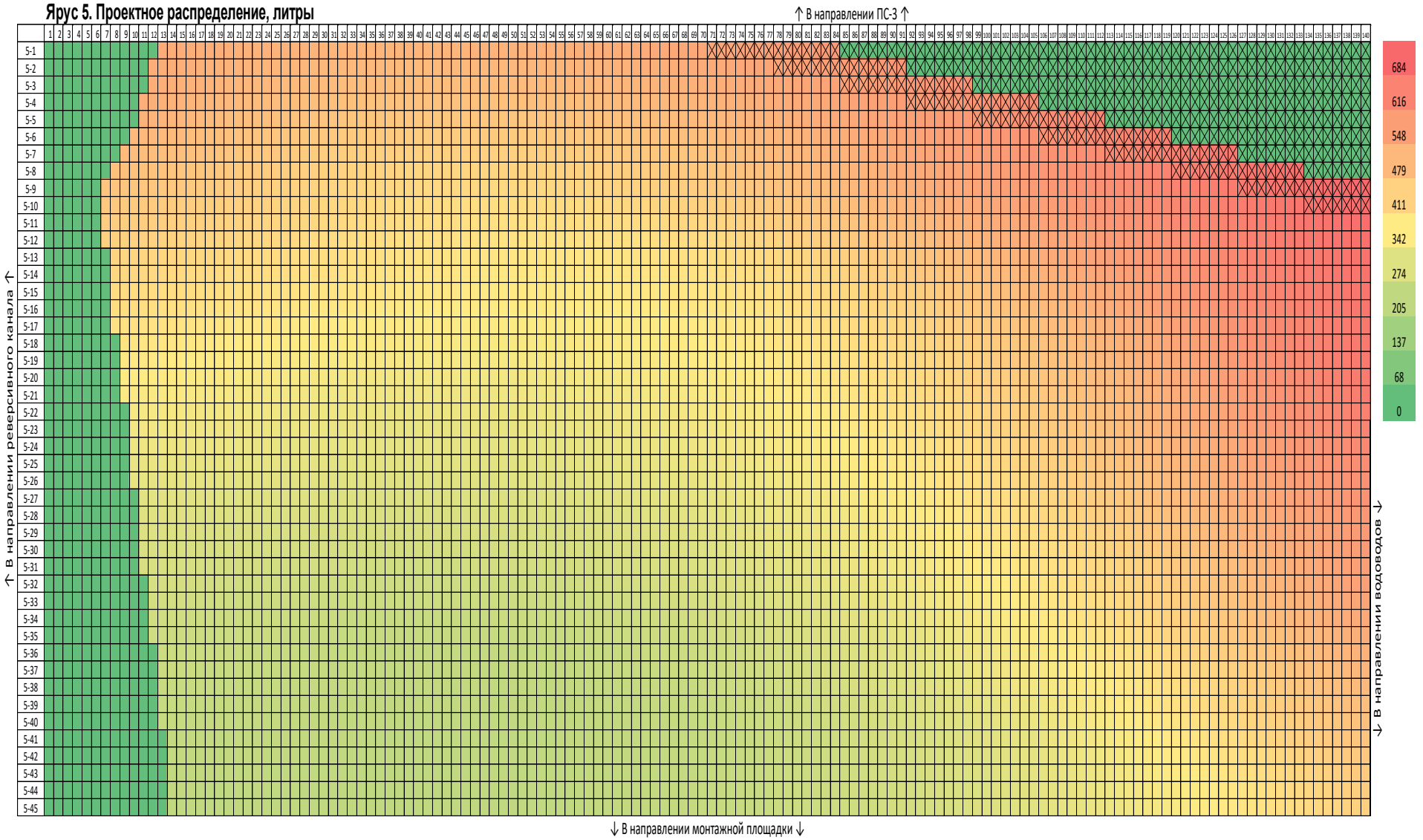


Рисунок В.3.1.

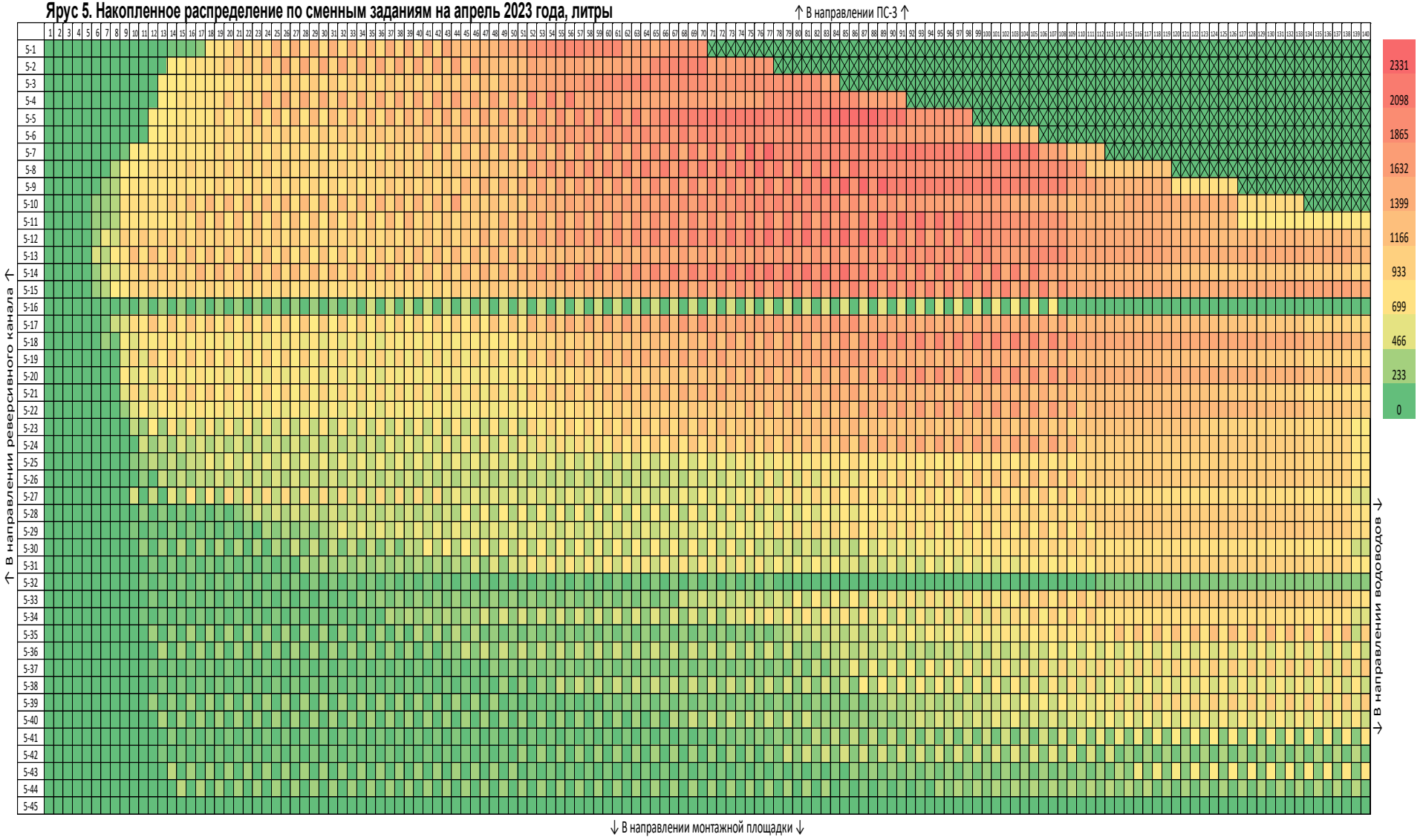

Ярус 5. Накопленное распределение по сменным заданиям на апрель 2023 года, литры
↑ В направлении ПС-3 ↑
↑ В направлении реверсивного канала ↑
↓ В направлении водоводов ↓
↓ В направлении монтажной площадки ↓
2331
2098
1865
1632
1399
1166
933
699
466
233
0

Рисунок В.3.2.

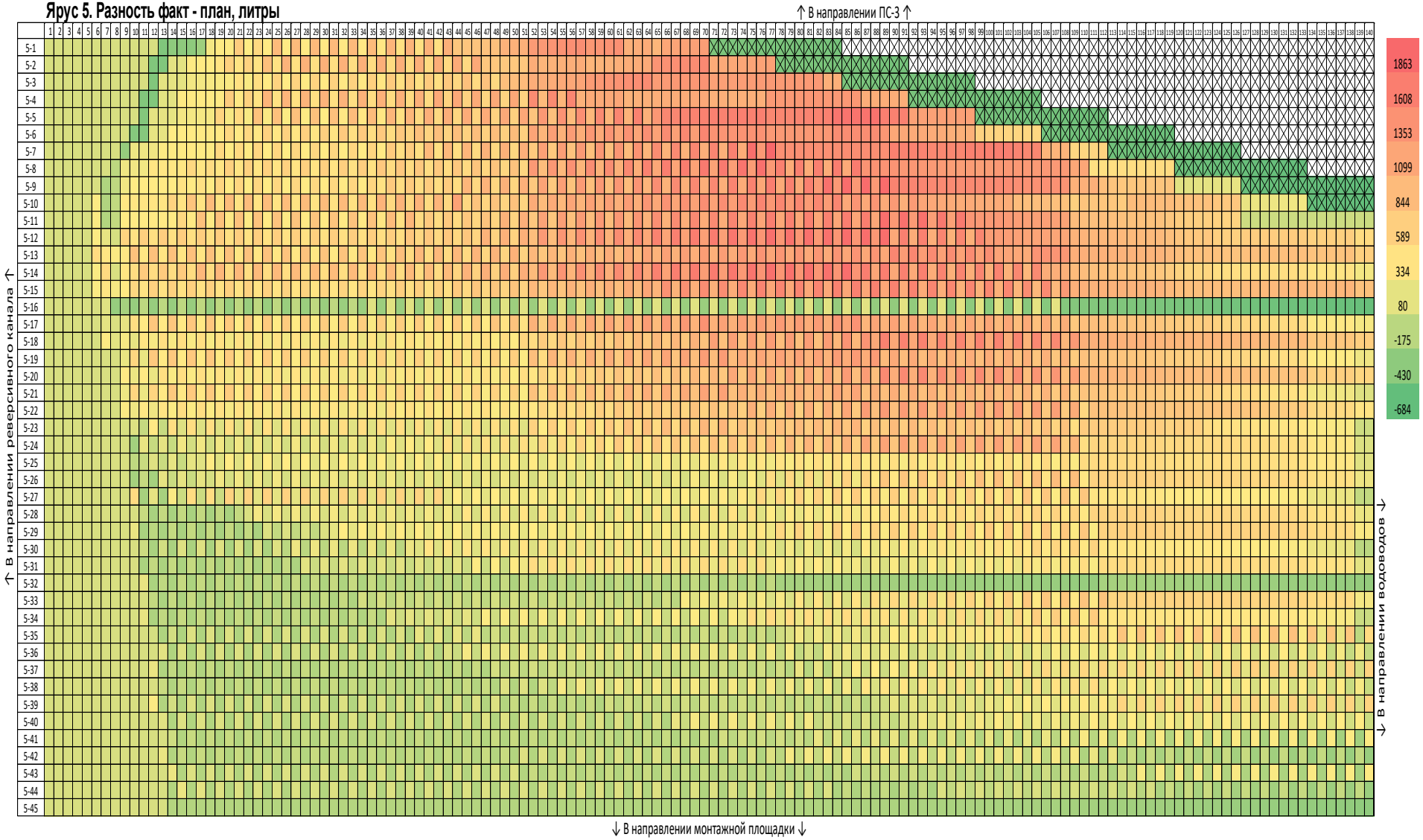

Ярус 5. Разность факт - план, литры
↑ В направлении ПС-3 ↑
1863
1608
1353
1099
844
589
334
80
-175
-430
-684
← В направлении реверсивного канала
→ В направлении водоводов →
↓ В направлении монтажной площадки ↓

Рисунок В.3.3.

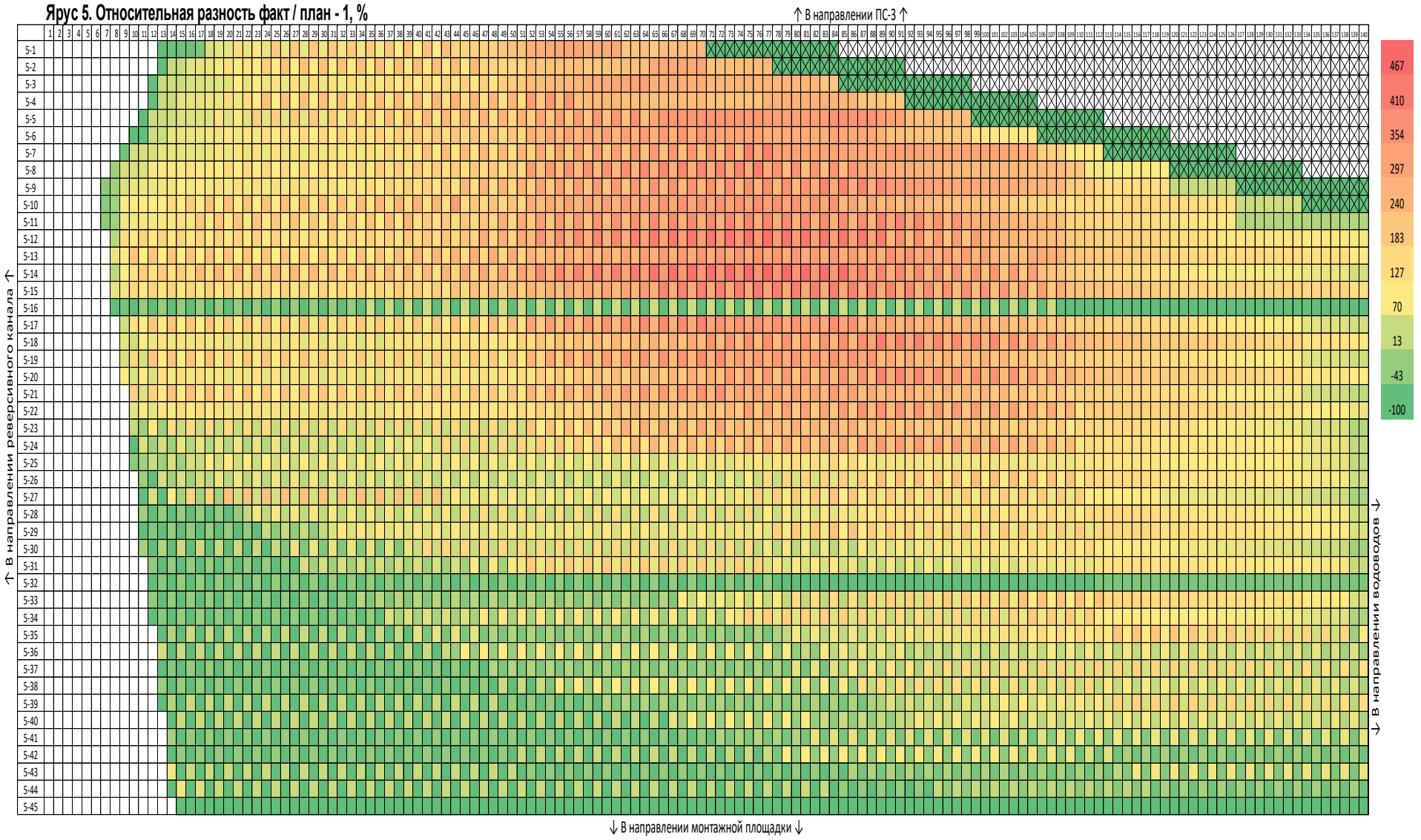

Ярус 5. Относительная разность факт / план - 1, %
↑ В направлении ПС-3 ↑
↑ В направлении реверсивного канала ↑
↓ В направлении водоводов ↓
↓ В направлении монтажной площадки ↓
467
410
354
297
240
183
127
70
13
-43
-100

Рисунок В.3.4.

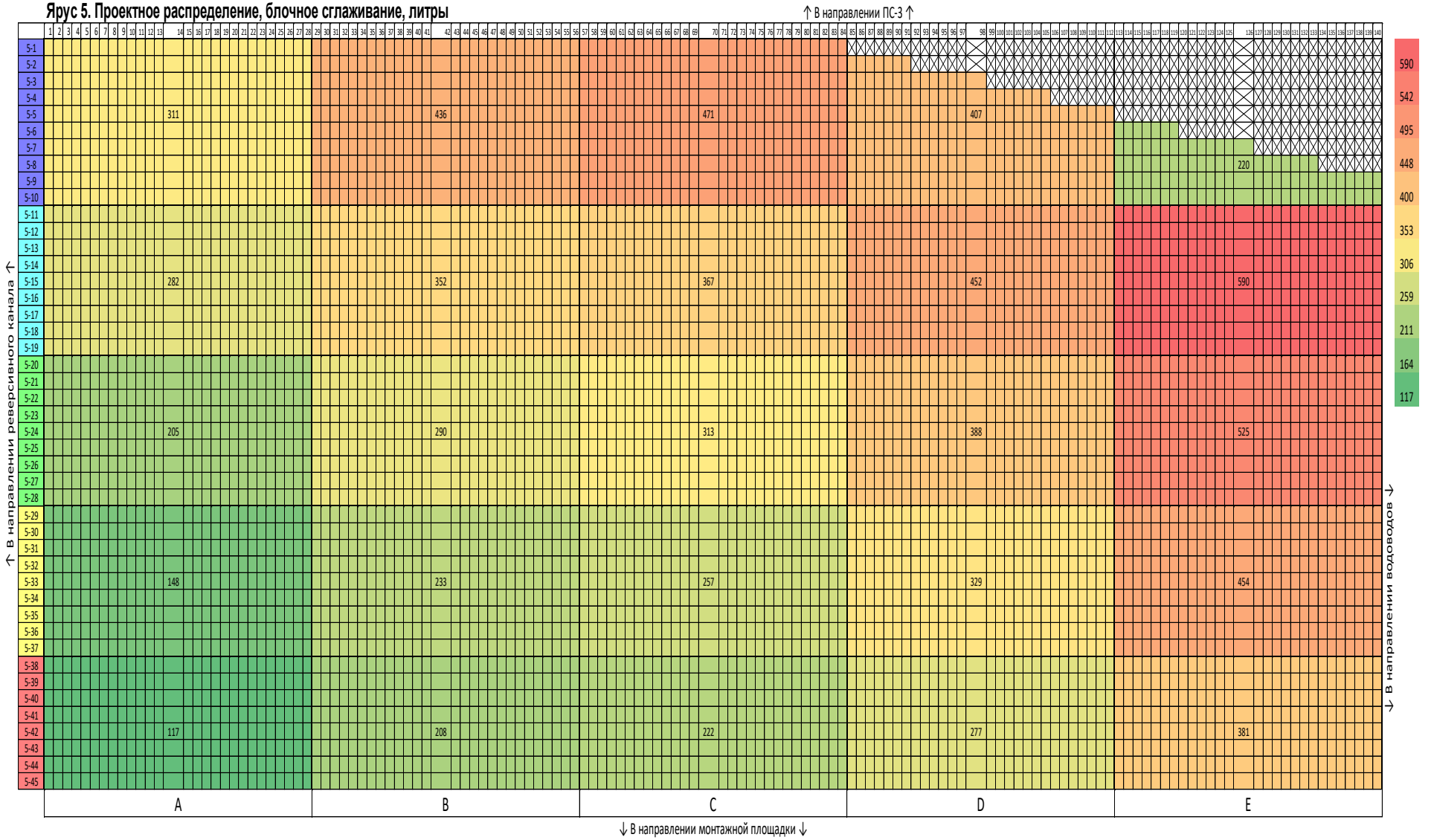

Ярус 5. Проектное распределение, блочное сглаживание, литры
↑ В направлении ПС-3 ↑
↑ В направлении реверсивного канала ↑
↓ В направлении водоводов ↓
↓ В направлении монтажной площадки ↓
A
B
C
D
E
311
436
471
407
220
282
352
367
452
590
205
290
313
388
525
148
233
257
329
454
117
208
222
277
381
590
542
495
448
400
353
306
259
211
164
117

Рисунок В.3.5.

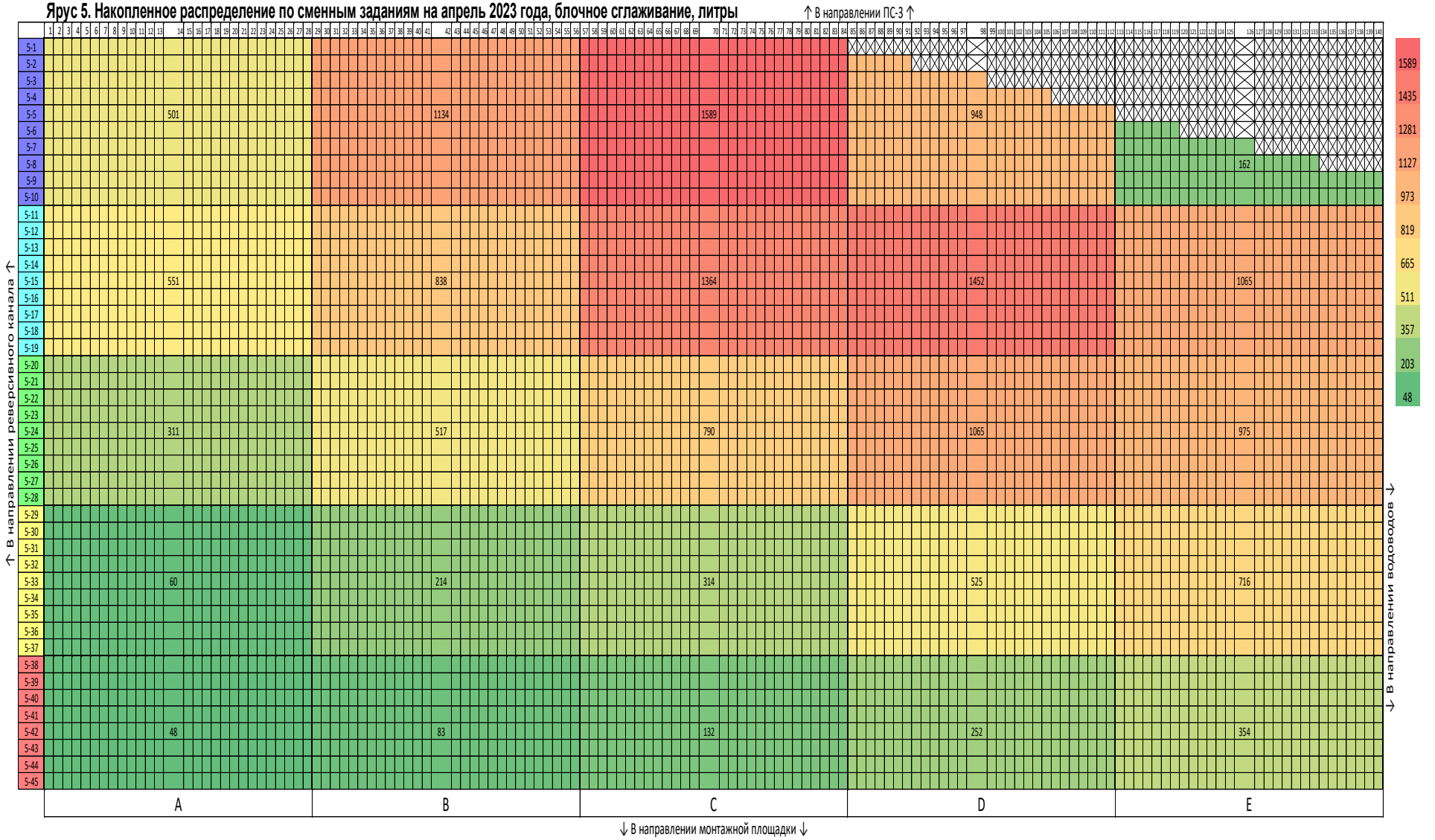

Ярус 5. Накопленное распределение по сменным заданиям на апрель 2023 года, блочное сглаживание, литры
↑ В направлении ПС-3 ↑
↑ В направлении реверсивного канала ↑
↓ В направлении водоводов ↓
↓ В направлении монтажной площадки ↓
A
B
C
D
E
501
1134
1589
948
162
551
838
1364
1452
1065
311
517
790
1065
975
60
214
314
525
716
48
83
132
252
354
1589
1435
1281
1127
973
819
665
511
357
203
48

Рисунок В.3.6.

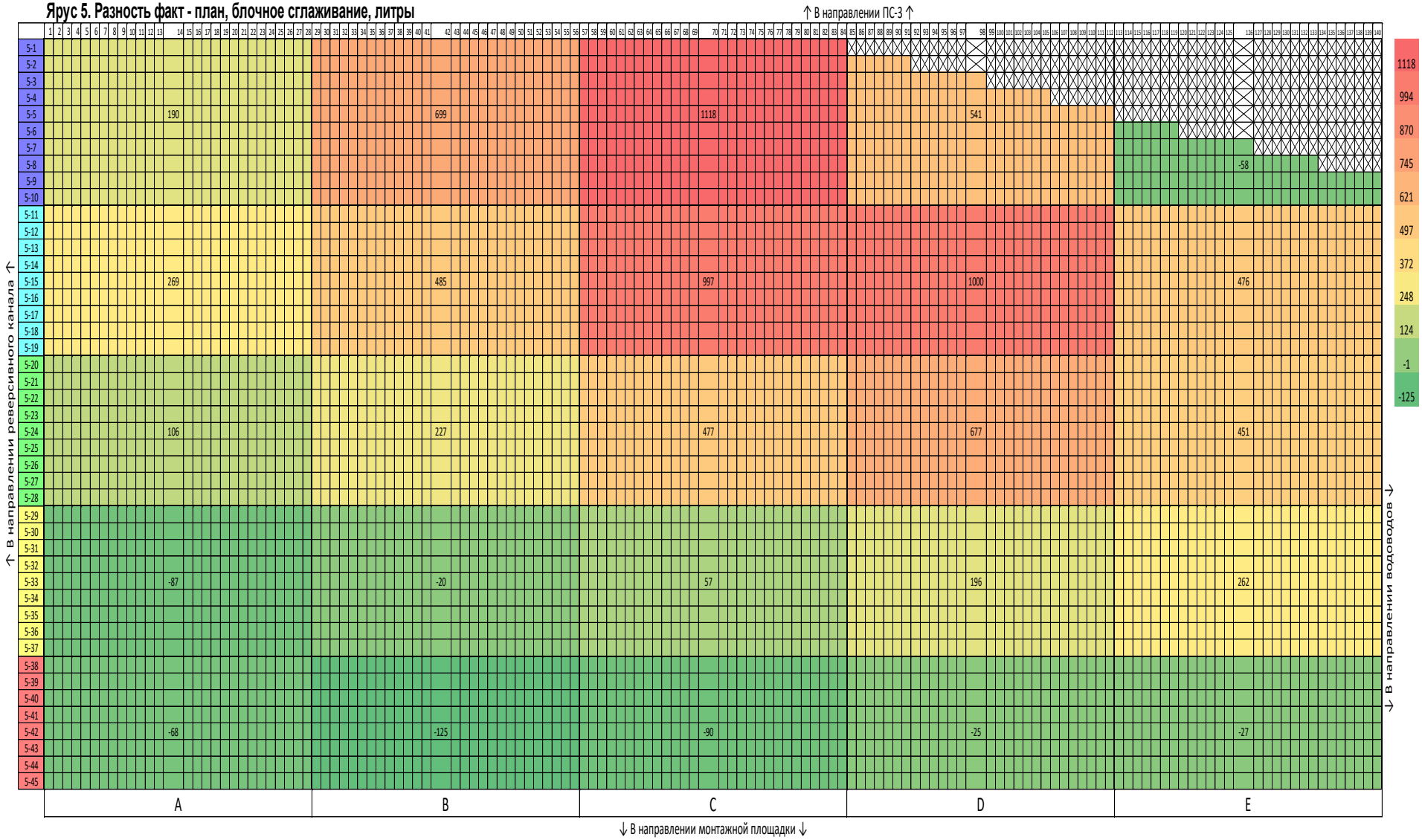

Ярус 5. Разность факт - план, блочное сглаживание, литры
↑ В направлении ПС-3 ↑
← В направлении реверсивного канала ←
→ В направлении водоводов →
↓ В направлении монтажной площадки ↓
A
B
C
D
E
190
699
1118
541
-58
269
485
997
1000
476
106
227
477
677
451
-87
-20
57
196
262
-68
-125
-90
-25
-27
1118
994
870
745
621
497
372
248
124
-1
-125

Рисунок В.3.7.

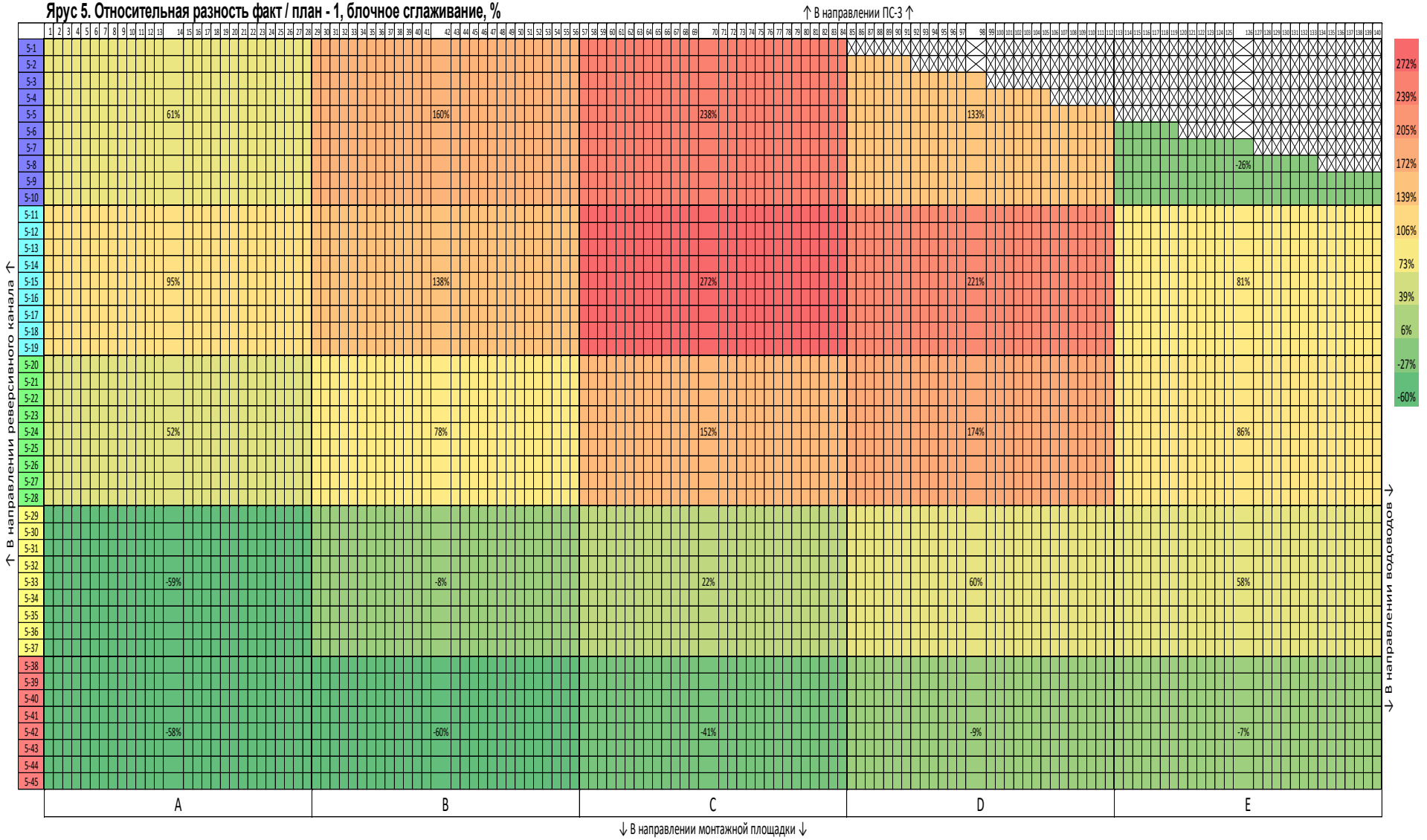

Ярус 5. Относительная разность факт / план - 1, блочное сглаживание, %
↑ В направлении ПС-3 ↑
← В направлении реверсивного канала ←
→ В направлении водоводов →
↓ В направлении монтажной площадки ↓
61%
160%
238%
133%
-26%
95%
138%
272%
221%
81%
52%
78%
152%
174%
86%
-59%
-8%
22%
60%
58%
-58%
-60%
-41%
-9%
-7%
A
B
C
D
E
272%
239%
205%
172%
139%
106%
73%
39%
6%
-27%
-60%

Рисунок В.3.8.

Приложение Г. Сценарные варианты распределения объемов компенсационного раствора по ярусу 5 манжетного поля

Г.1. Варьирование проектного распределения объемов компенсационного раствора по теории планирования эксперимента. Базовое факторное пространство

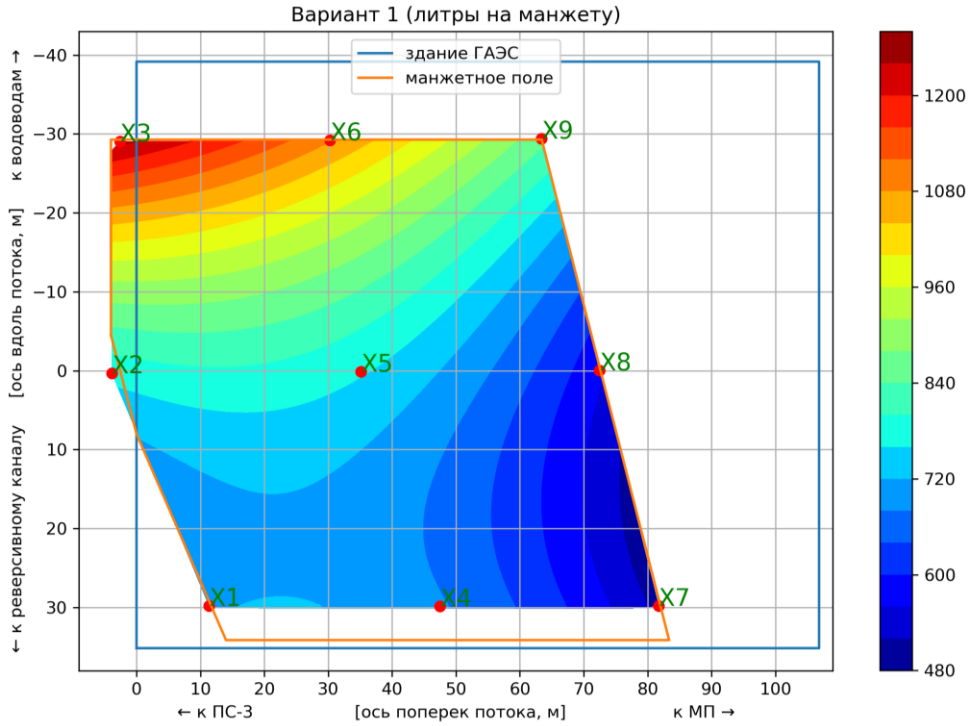


Рисунок Г.1.1.

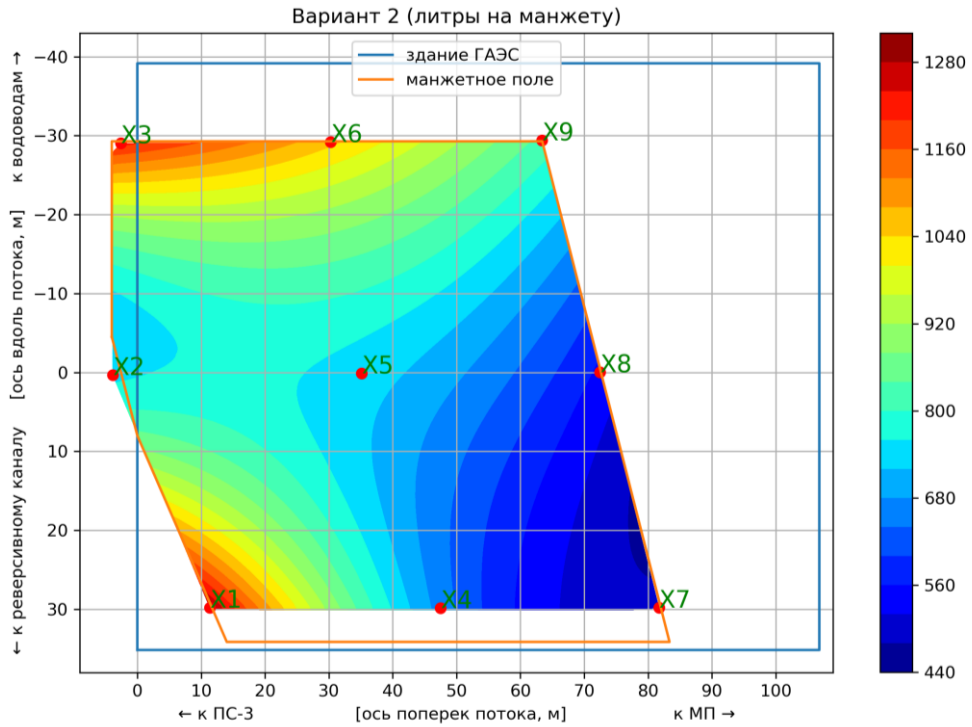


Рисунок Г.1.2.

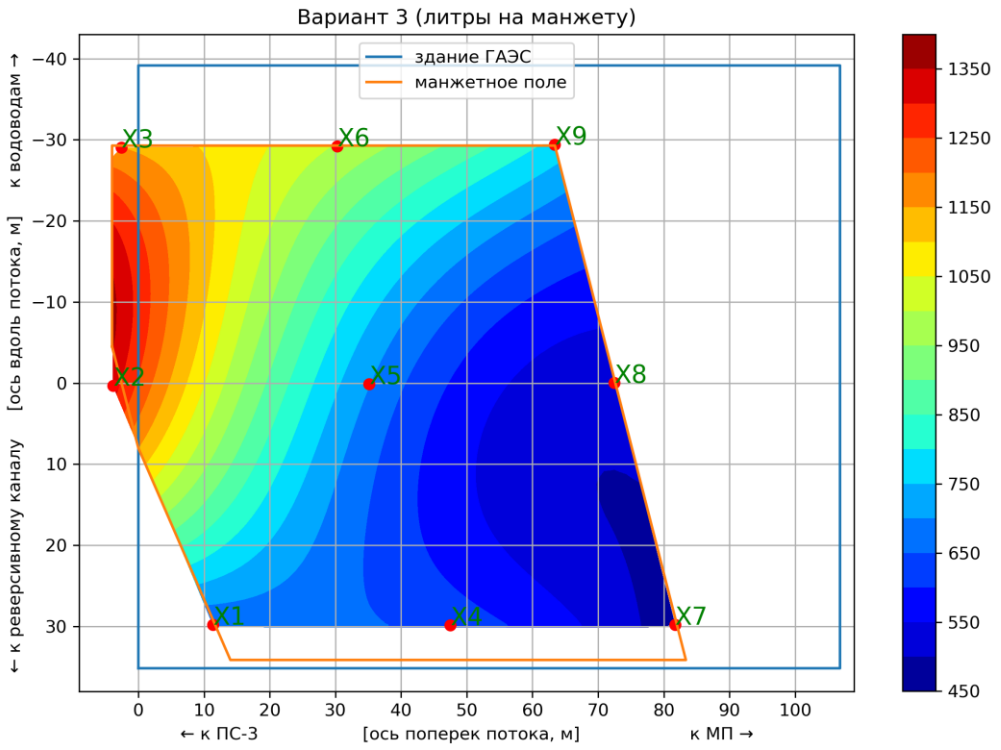


Рисунок Г.1.3.

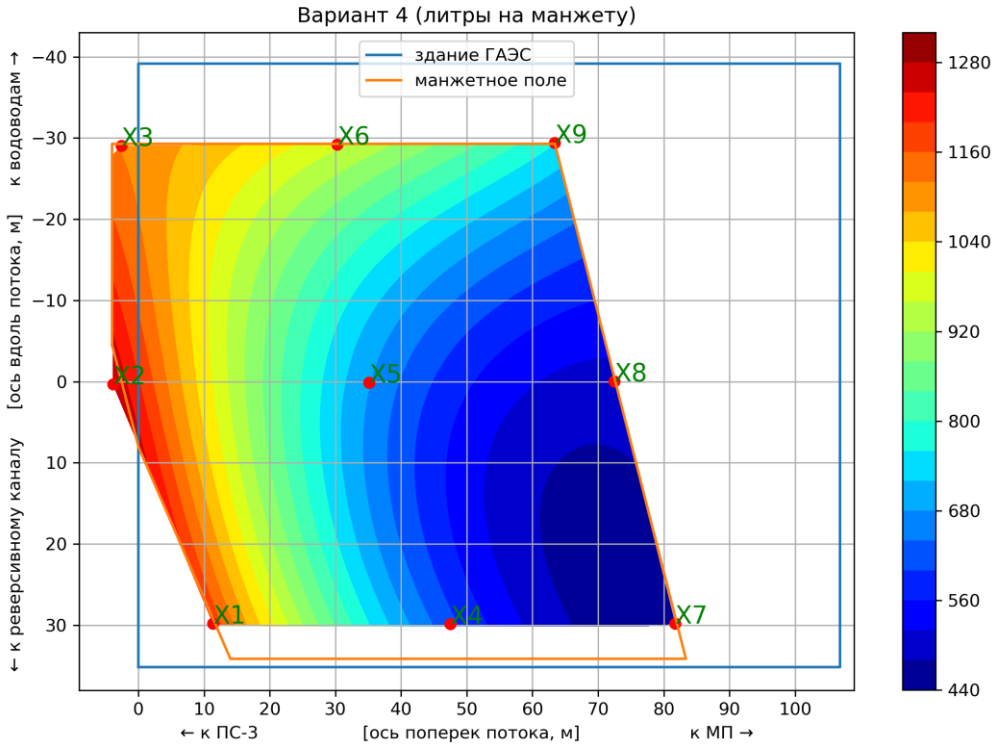


Рисунок Г.1.4.

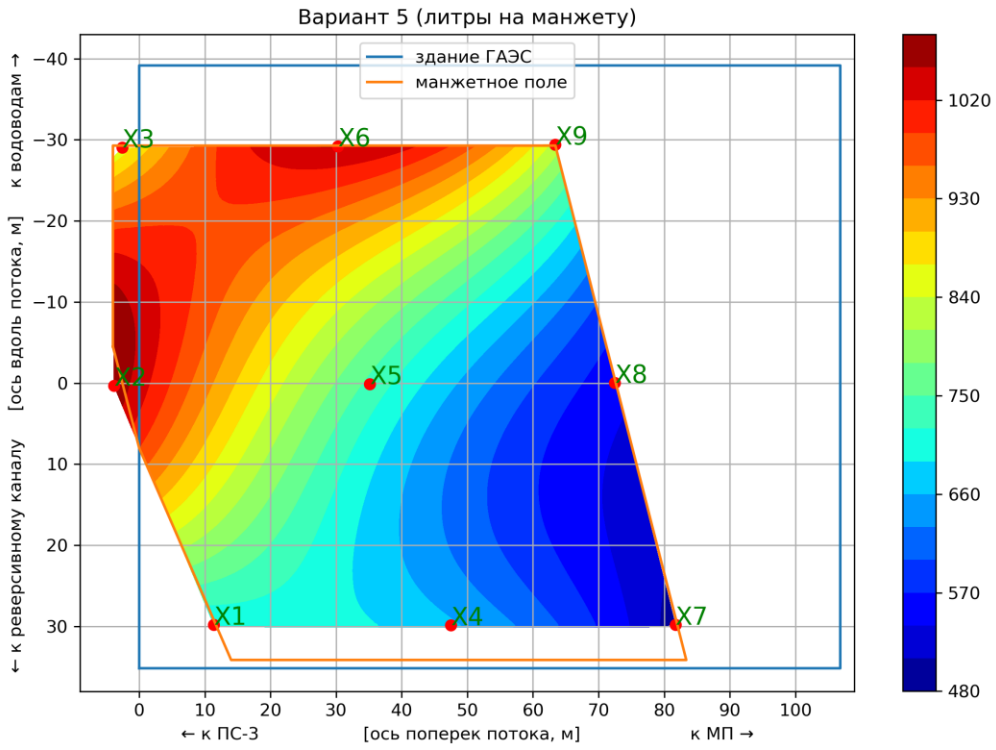


Рисунок Г.1.5.

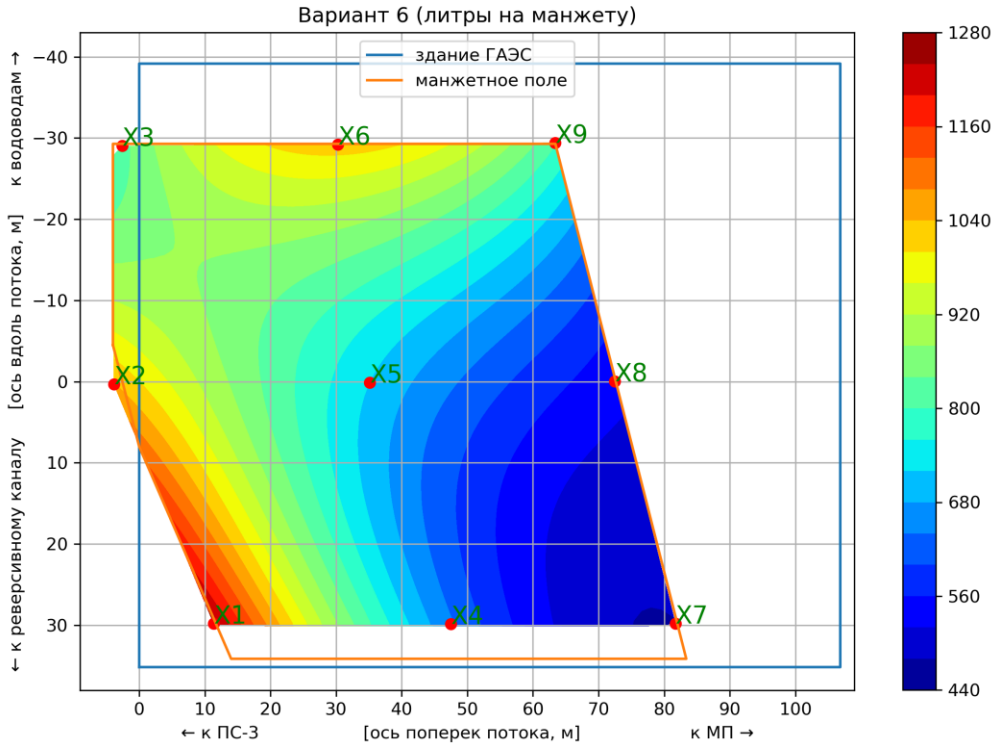


Рисунок Г.1.6.

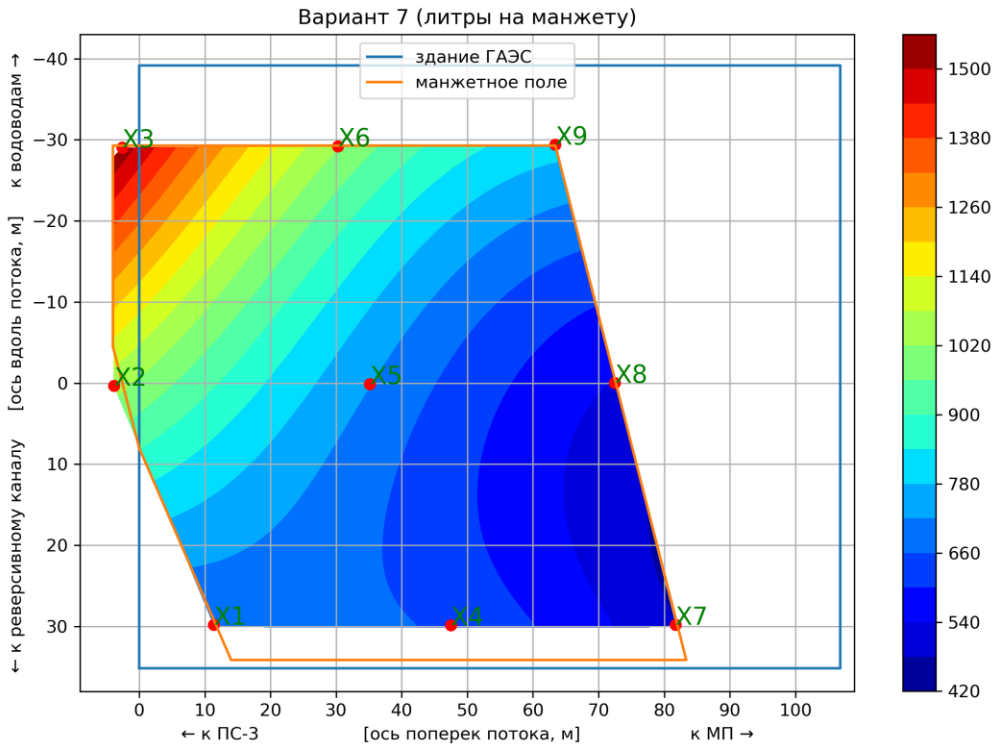


Рисунок Г.1.7.

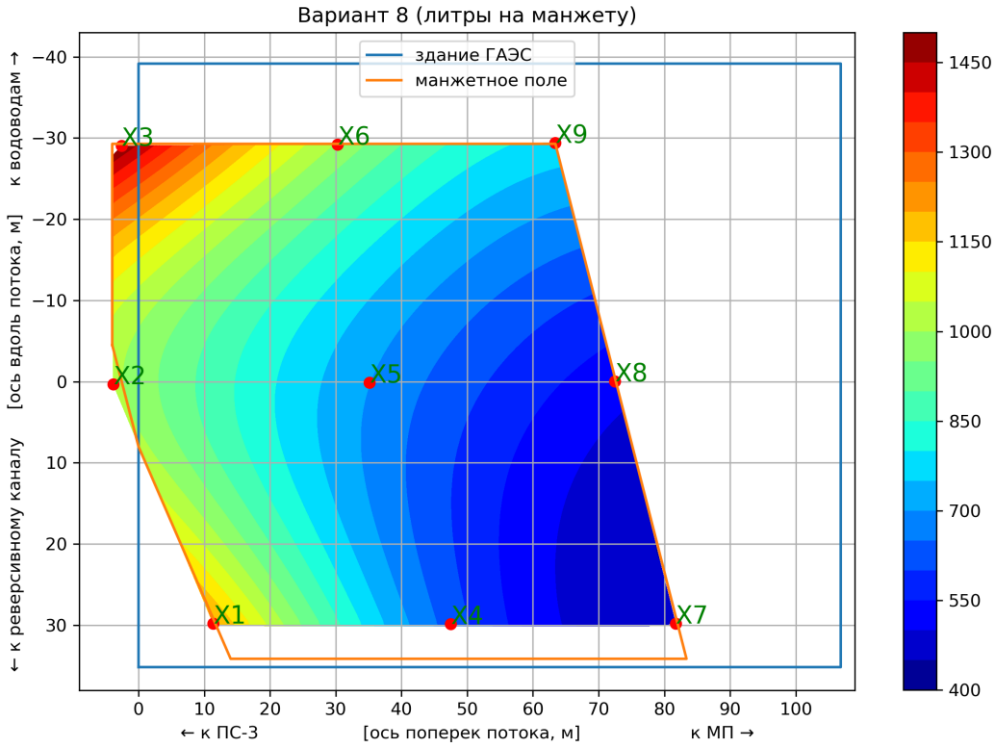


Рисунок Г.1.8.

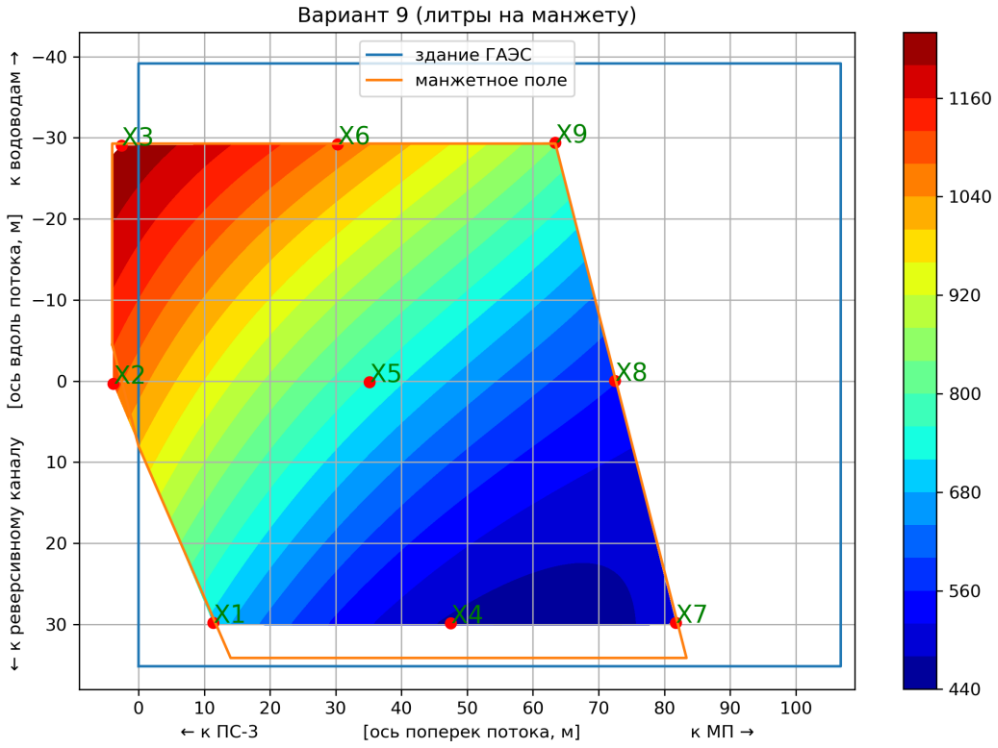


Рисунок Г.1.9.

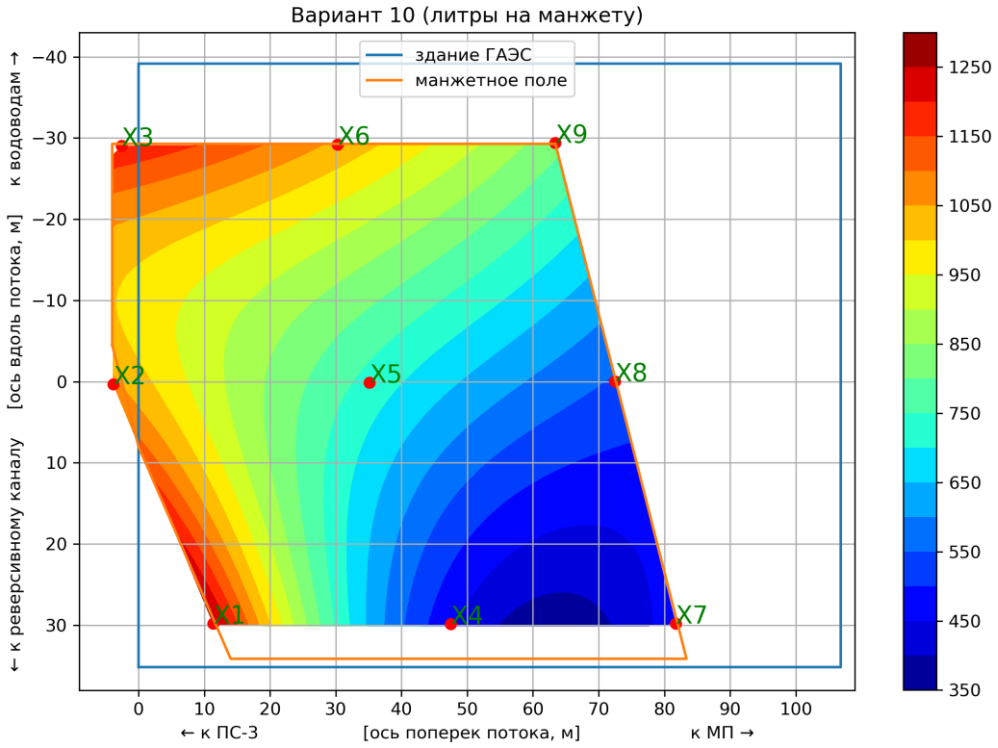


Рисунок Г.1.10.

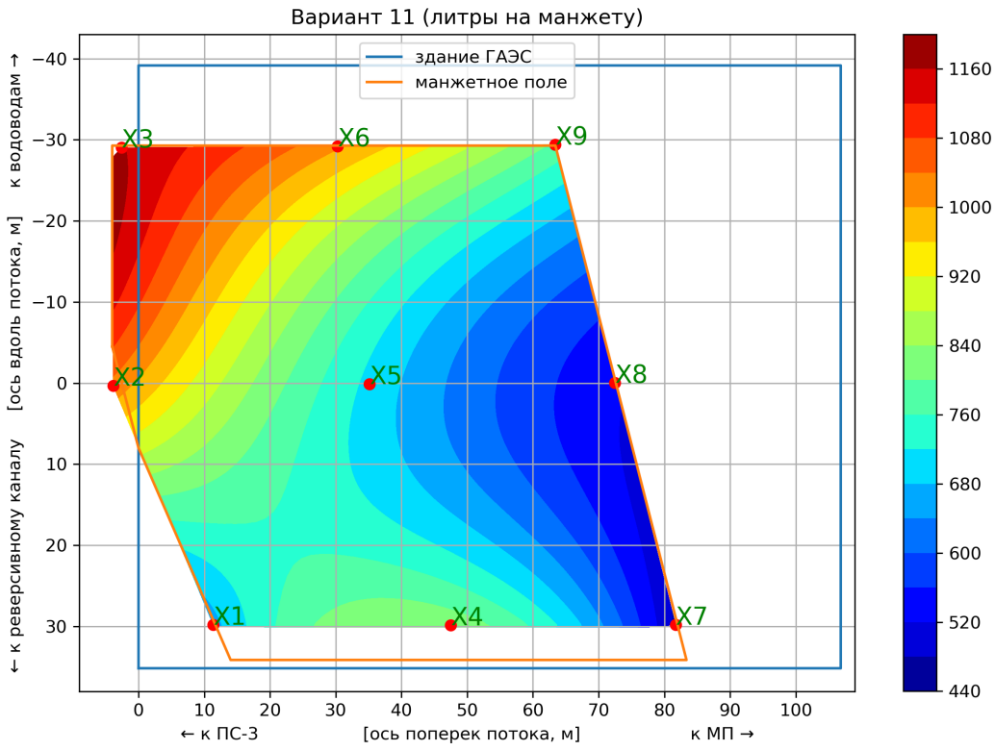


Рисунок Г.1.11.

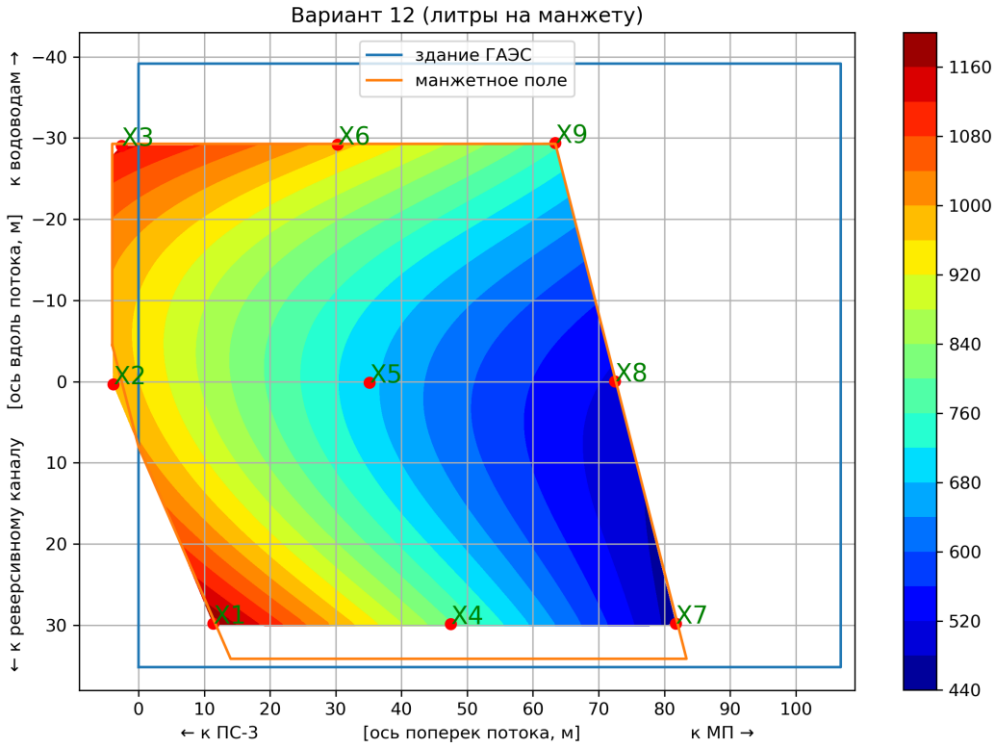


Рисунок Г.1.12.

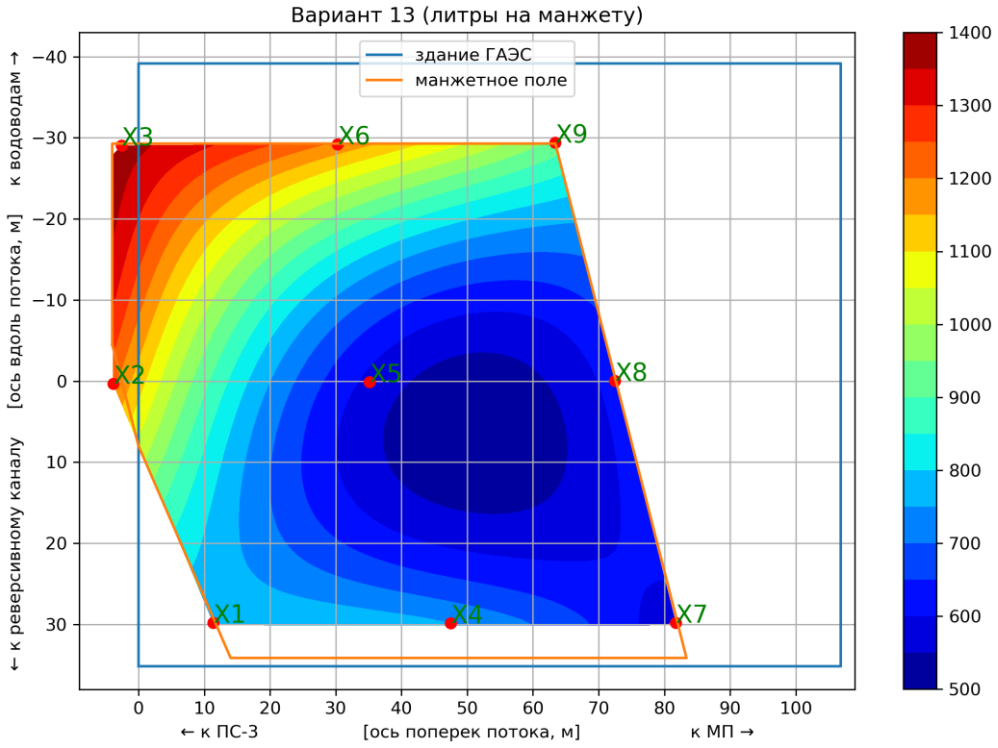


Рисунок Г.1.13.

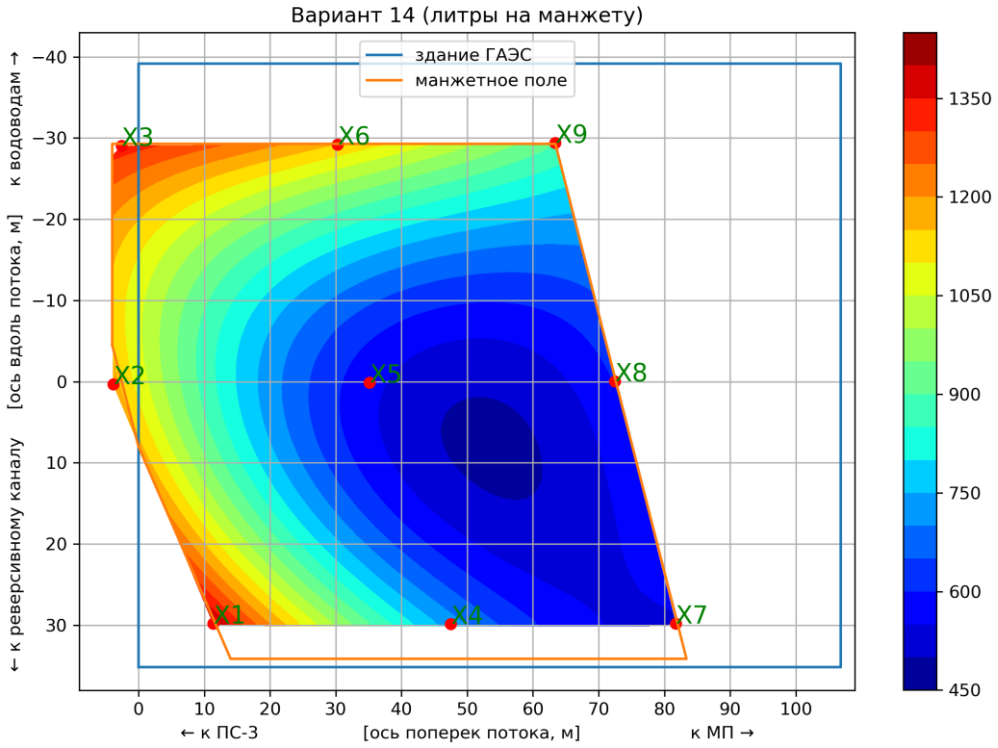


Рисунок Г.1.14.

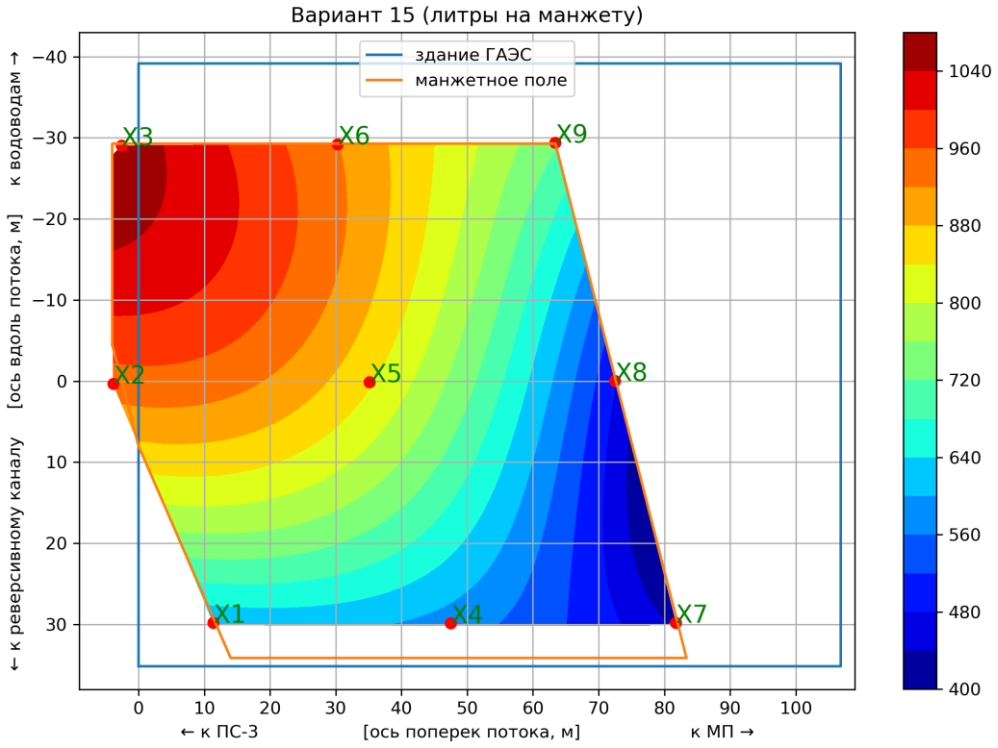


Рисунок Г.1.15.

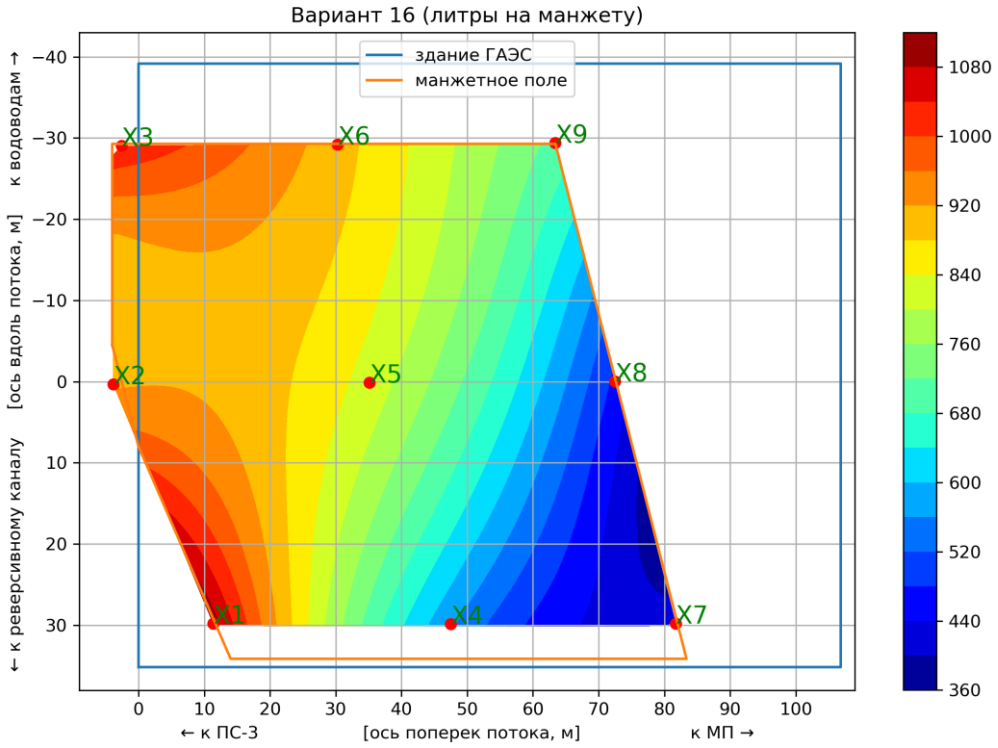


Рисунок Г.1.16.

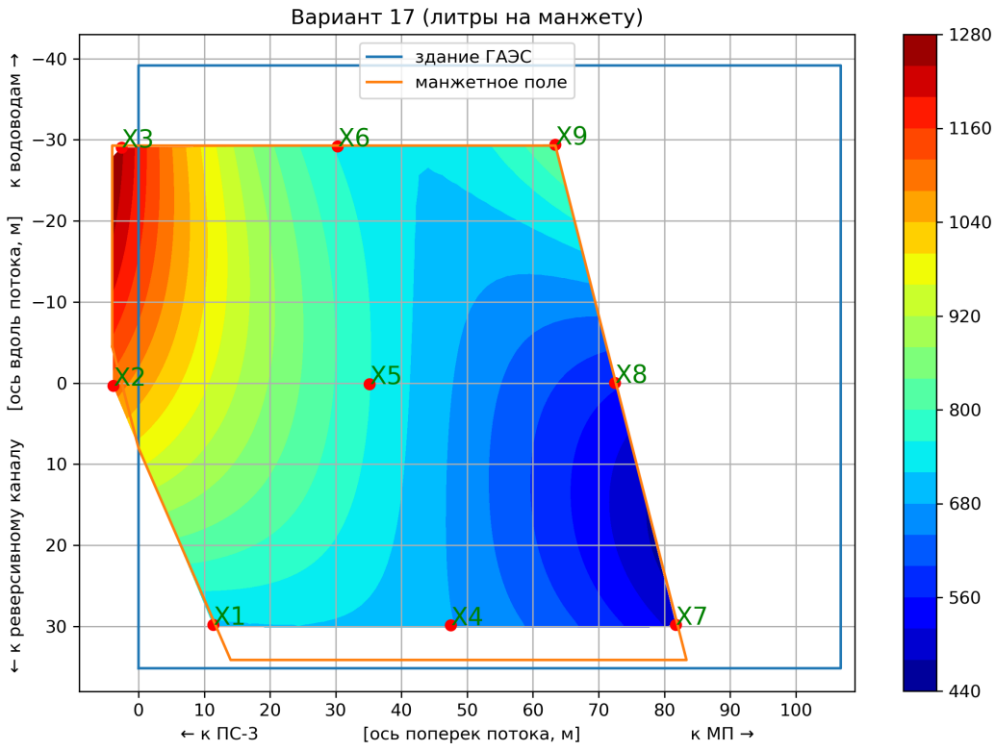


Рисунок Г.1.17.

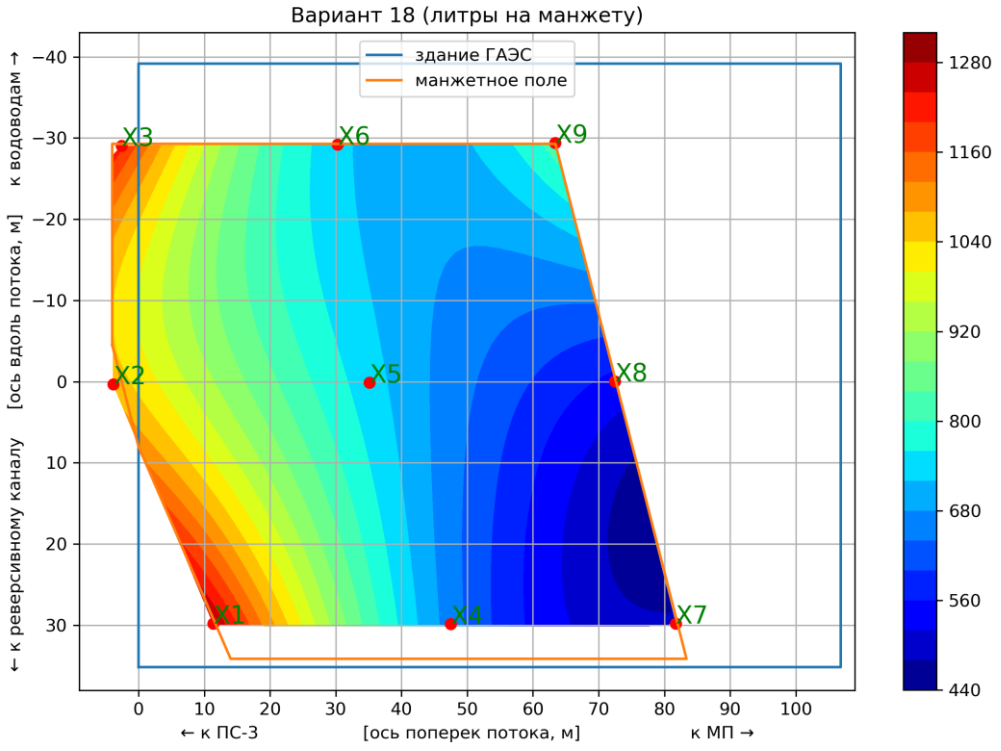


Рисунок Г.1.18.

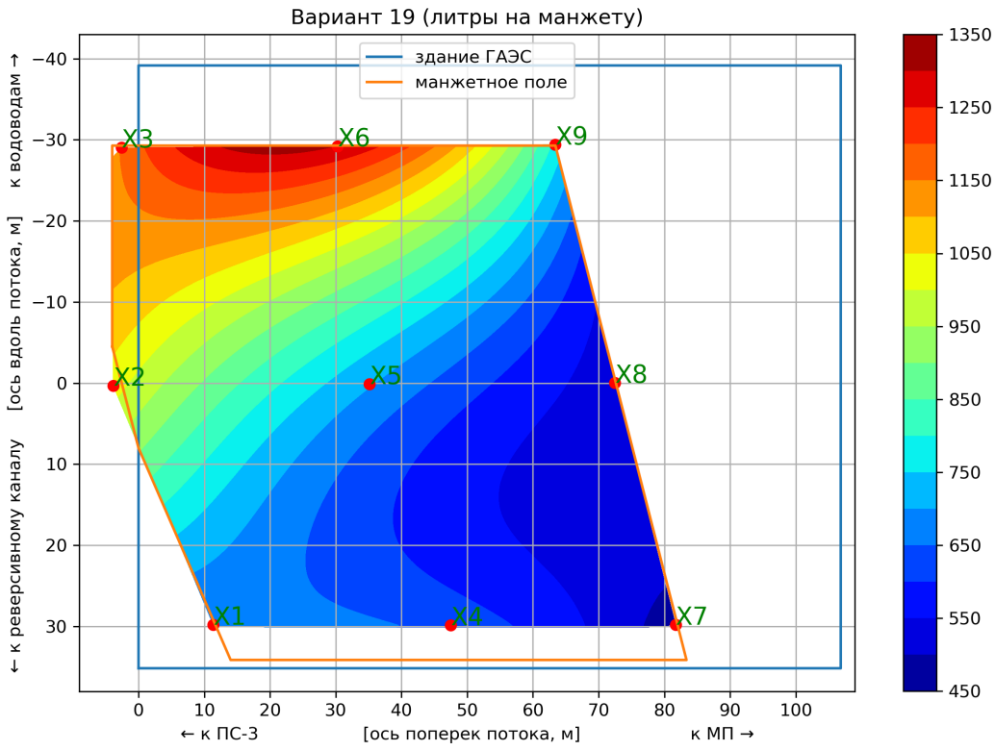


Рисунок Г.1.19.

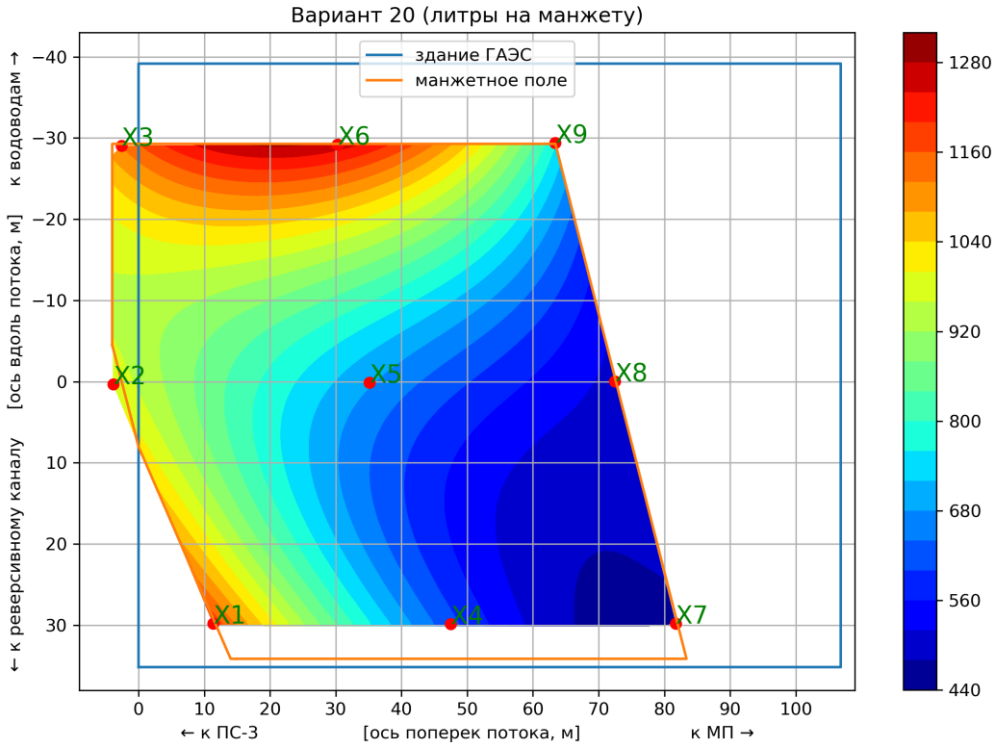


Рисунок Г.1.20.

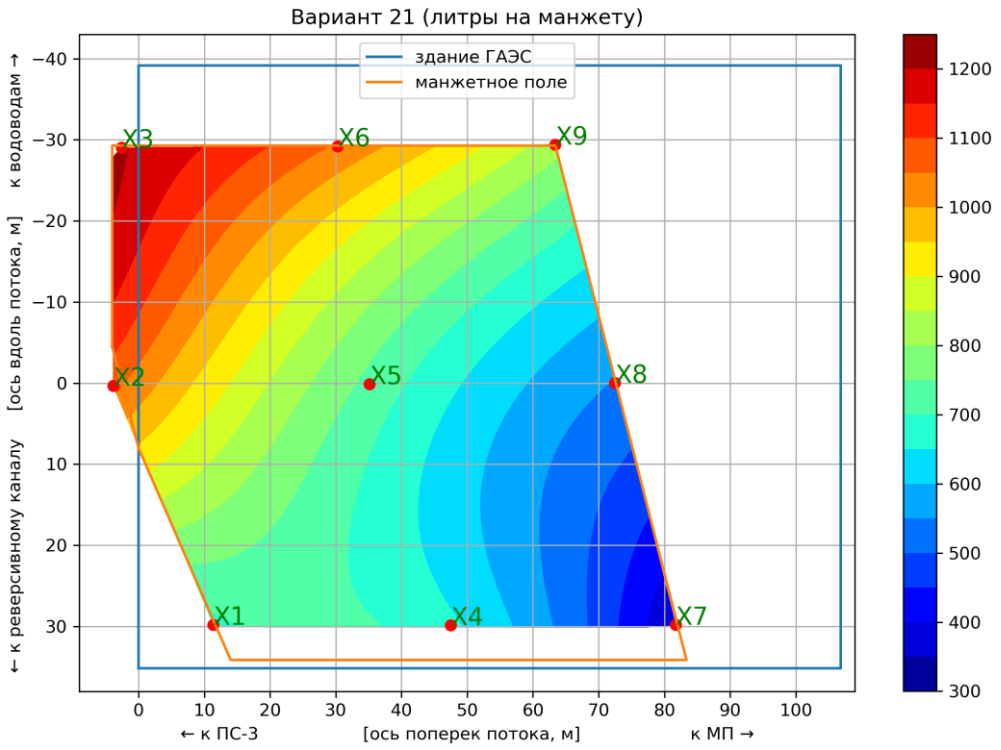


Рисунок Г.1.21.

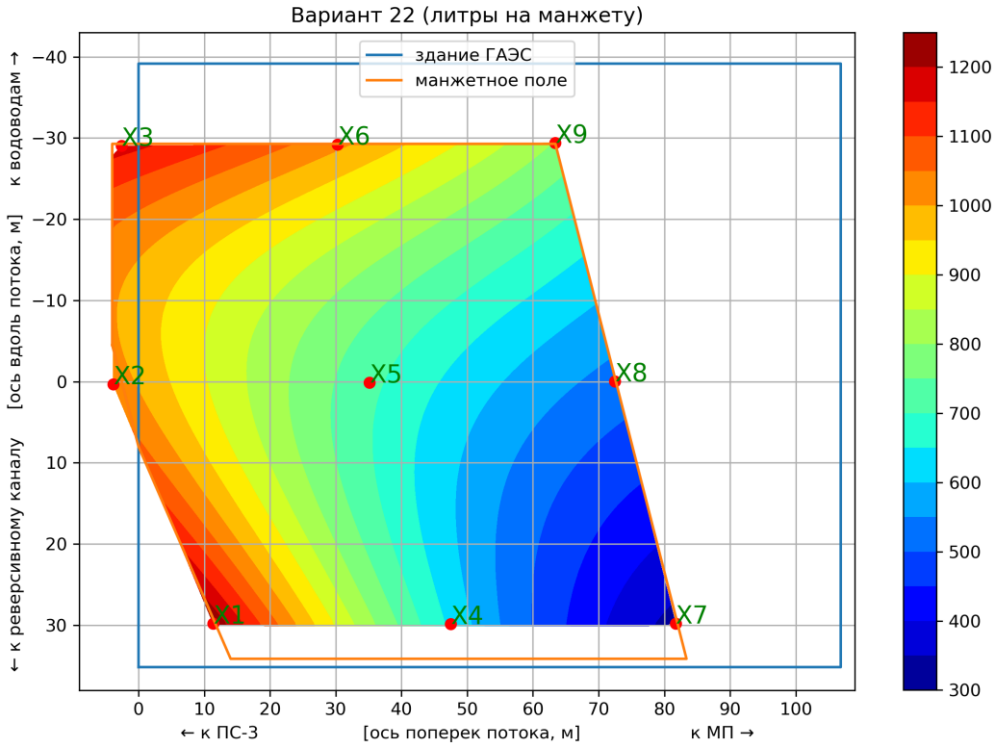


Рисунок Г.1.22.

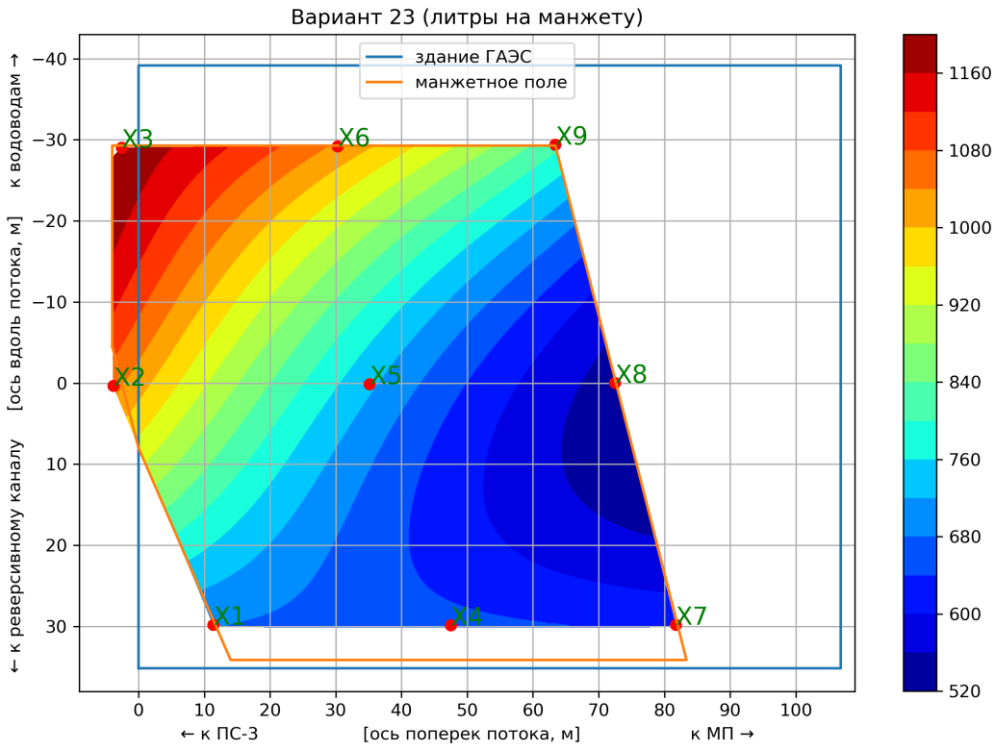


Рисунок Г.1.23.

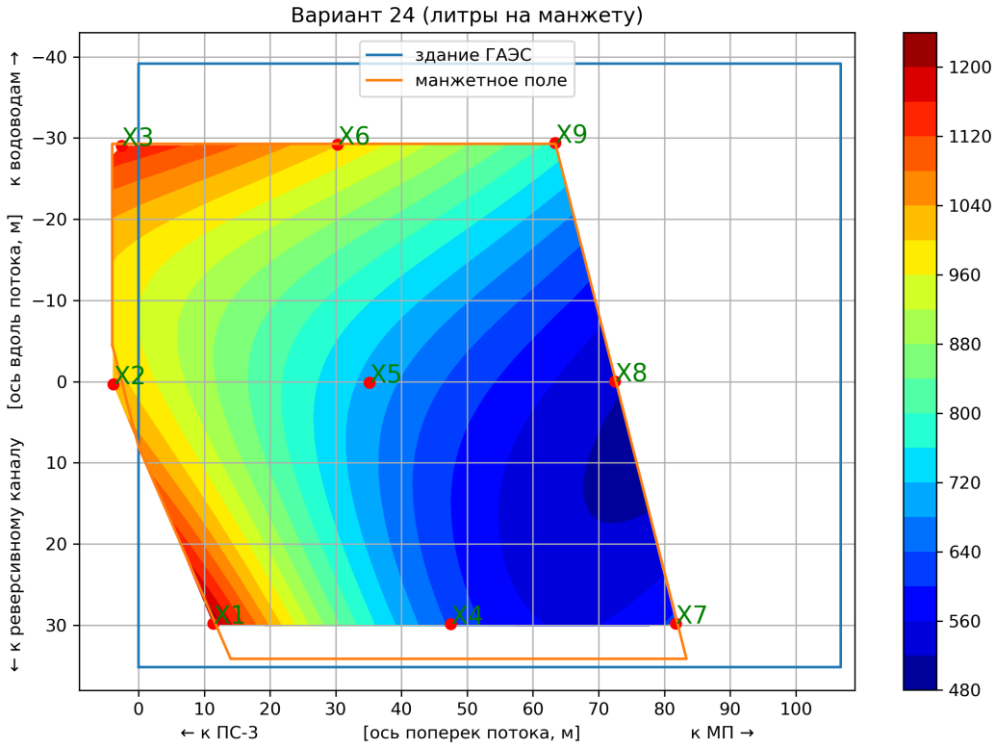


Рисунок Г.1.24.

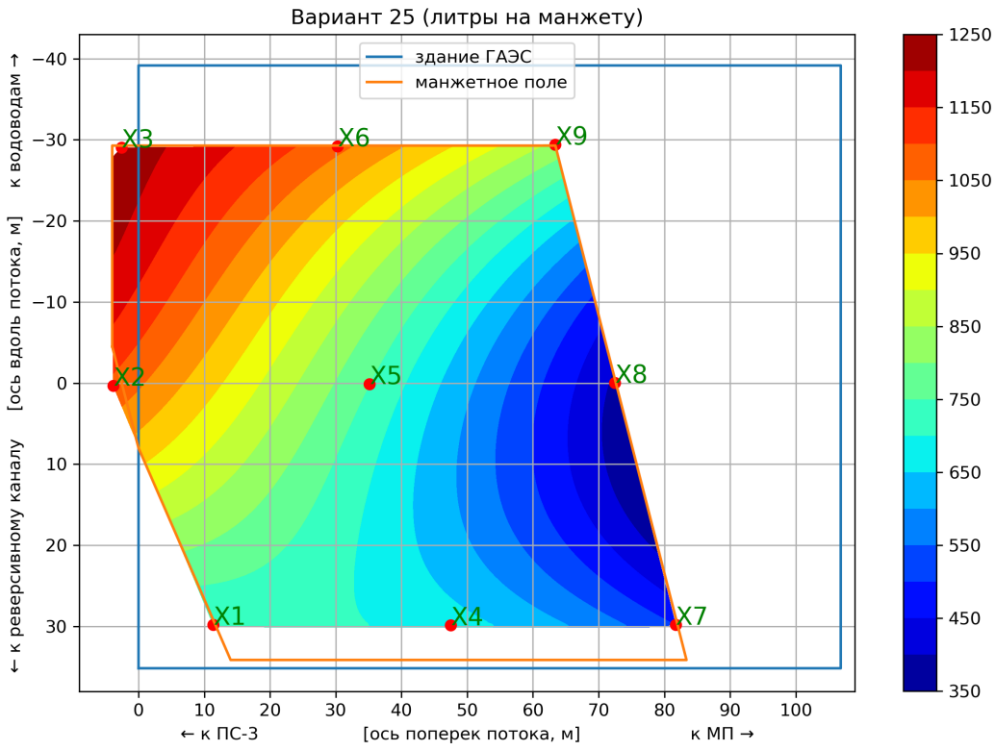


Рисунок Г.1.25.

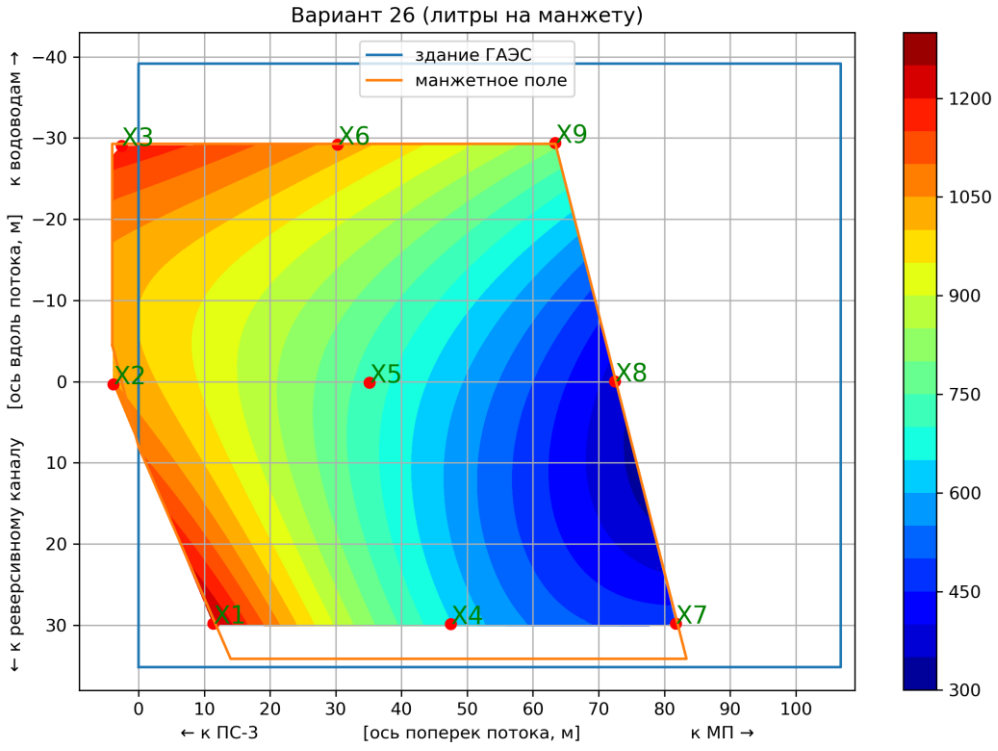


Рисунок Г.1.26.

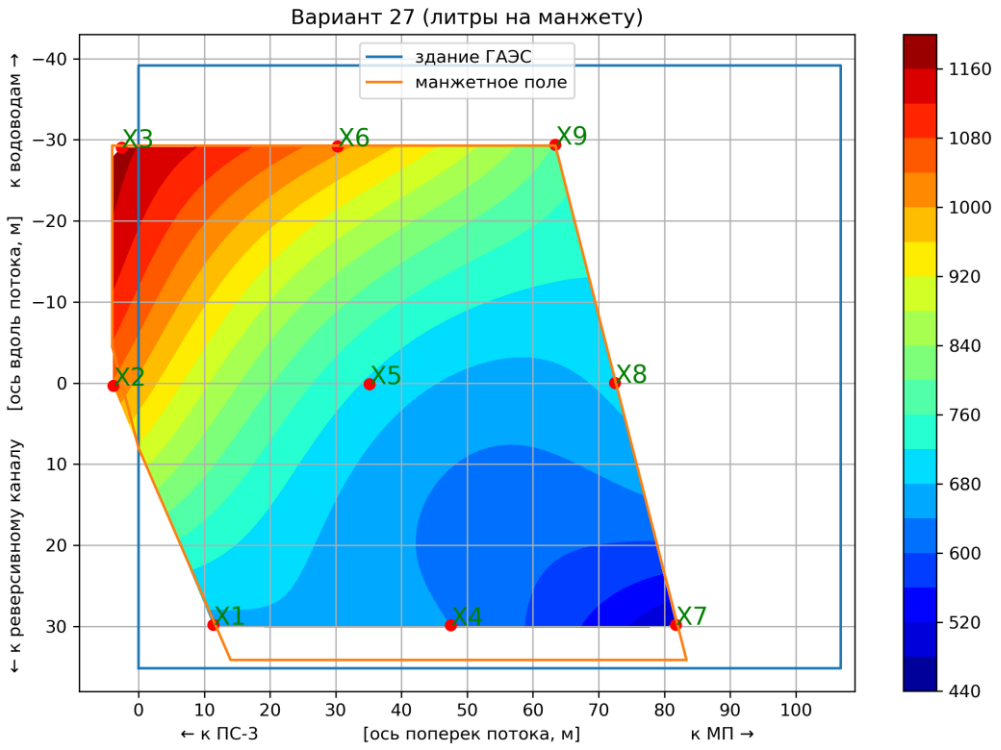


Рисунок Г.1.27.

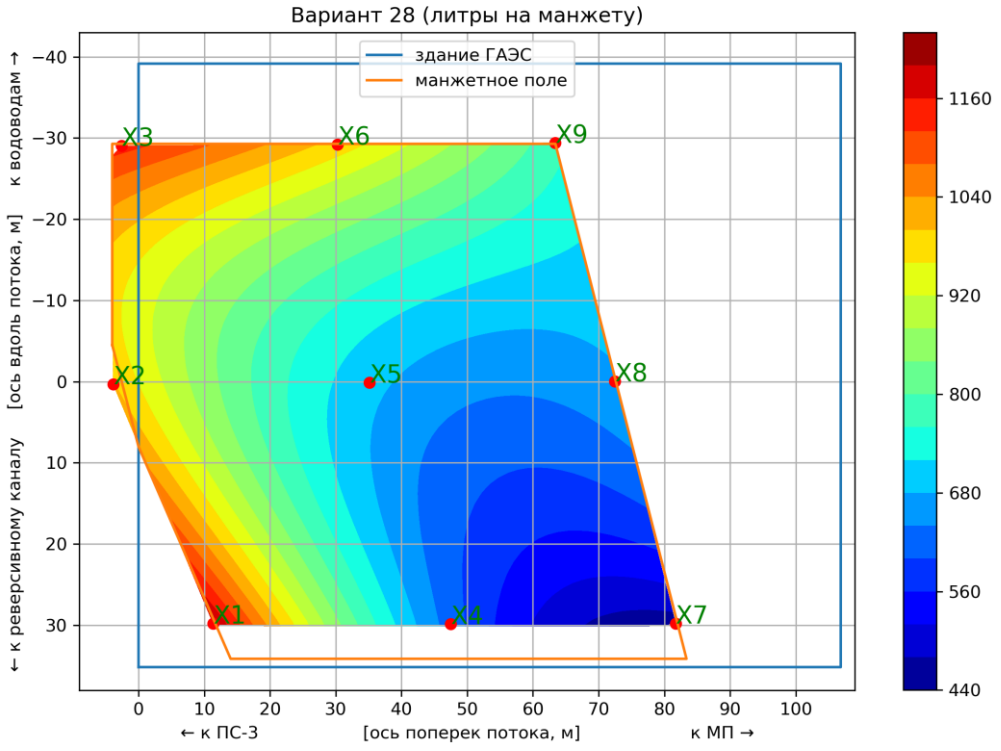


Рисунок Г.1.28.

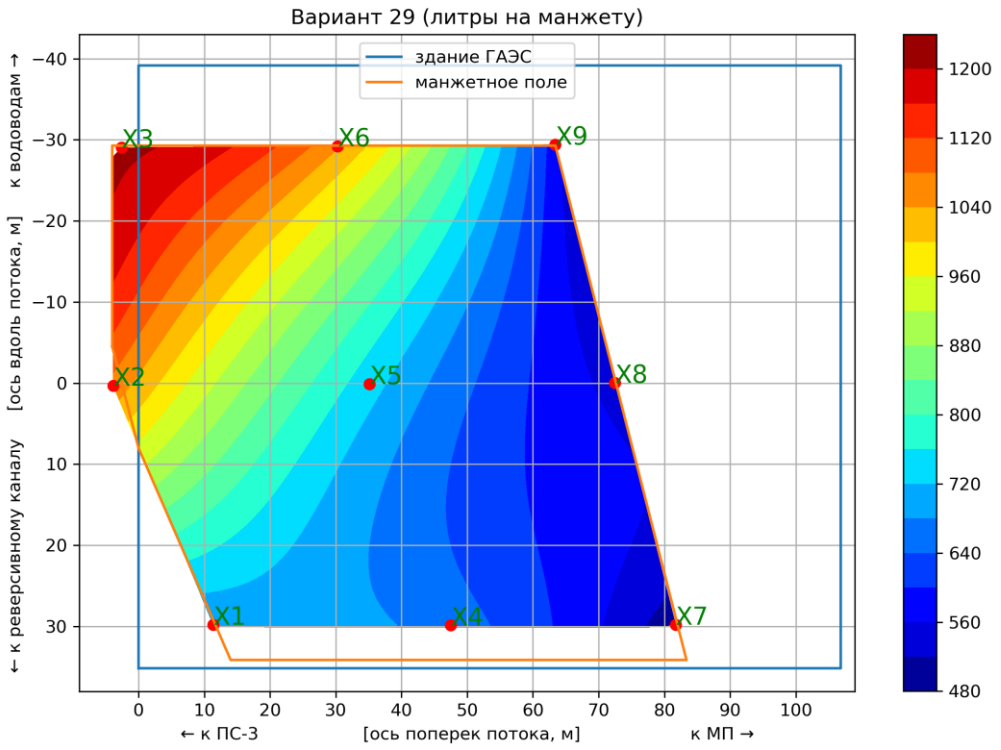


Рисунок Г.1.29.

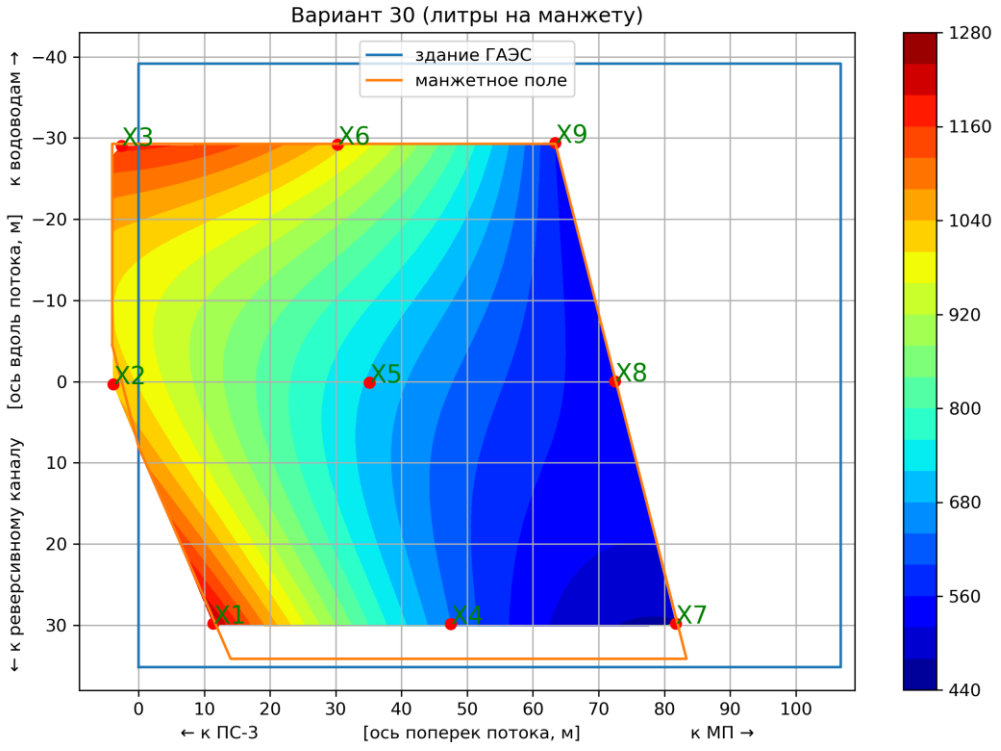


Рисунок Г.1.30.

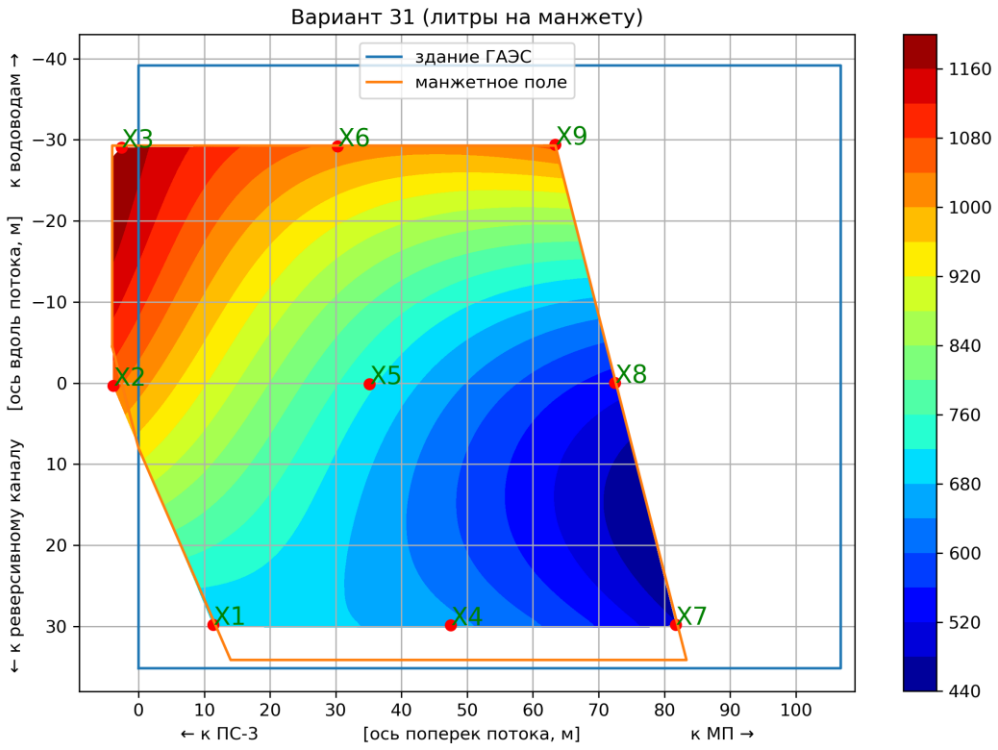


Рисунок Г.1.31.

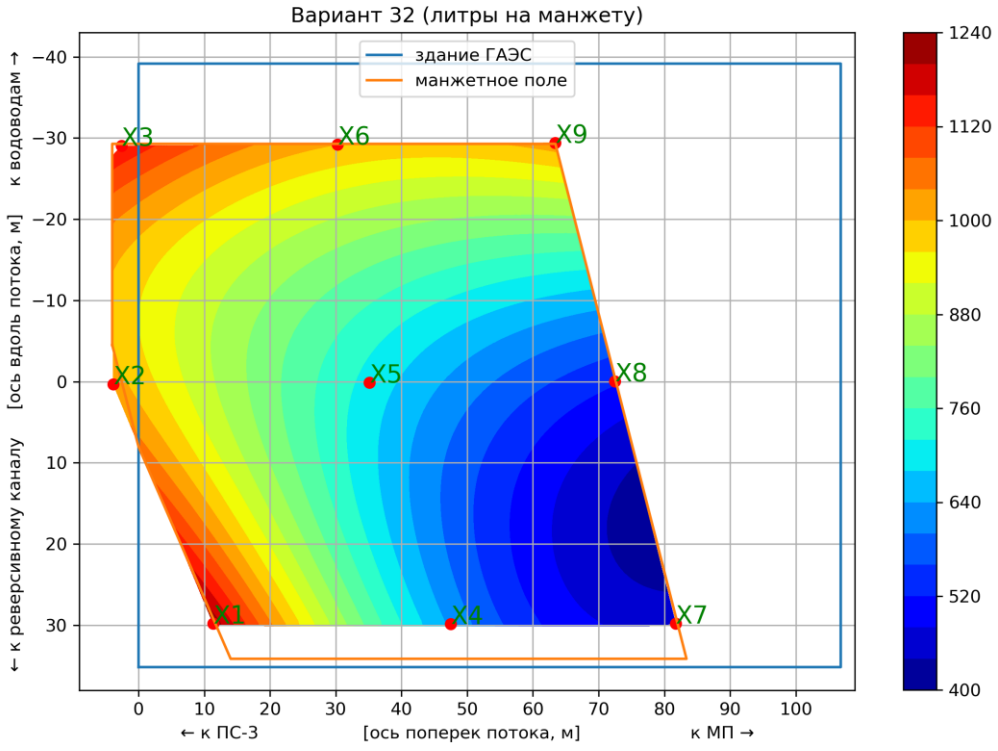


Рисунок Г.1.32.

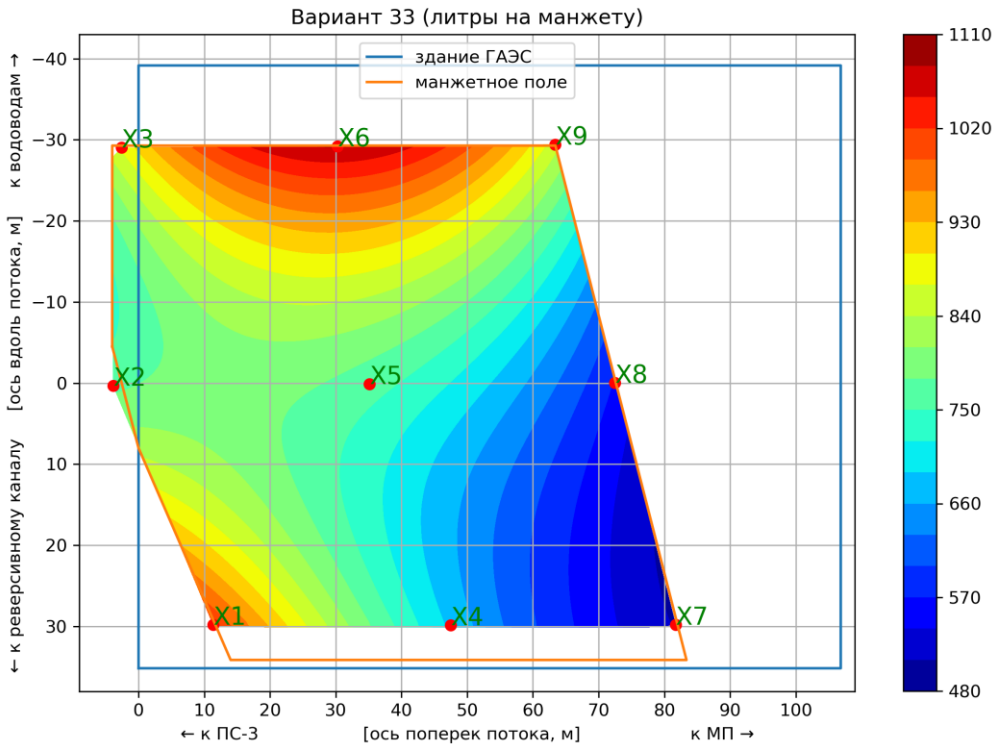


Рисунок Г.1.33.

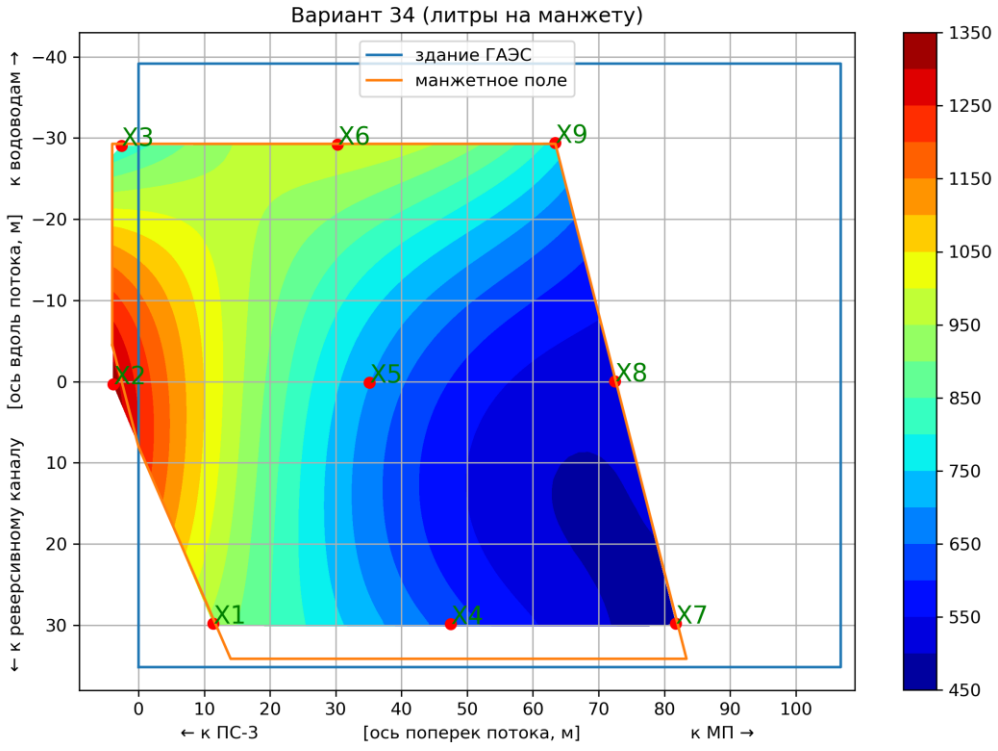


Рисунок Г.1.34.

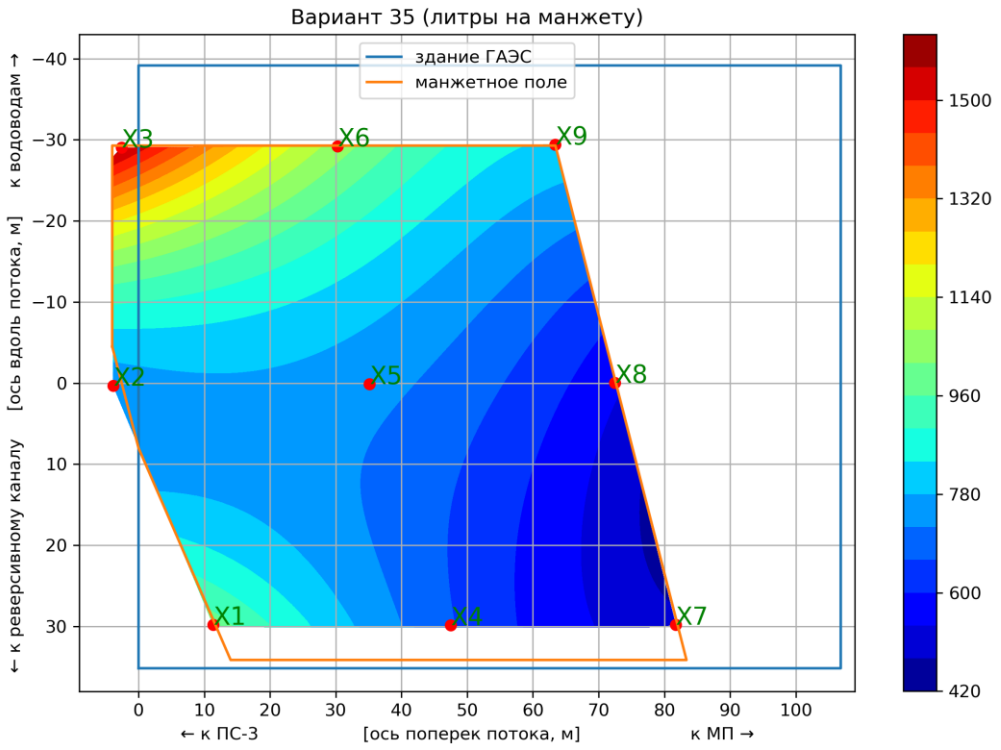


Рисунок Г.1.35.

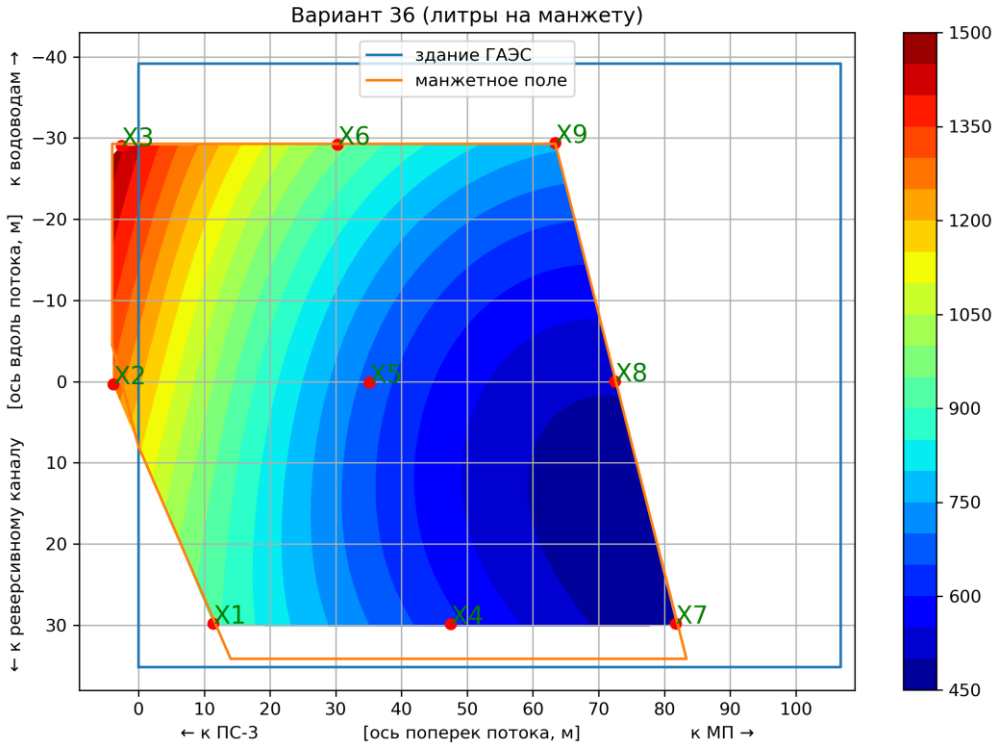


Рисунок Г.1.36.

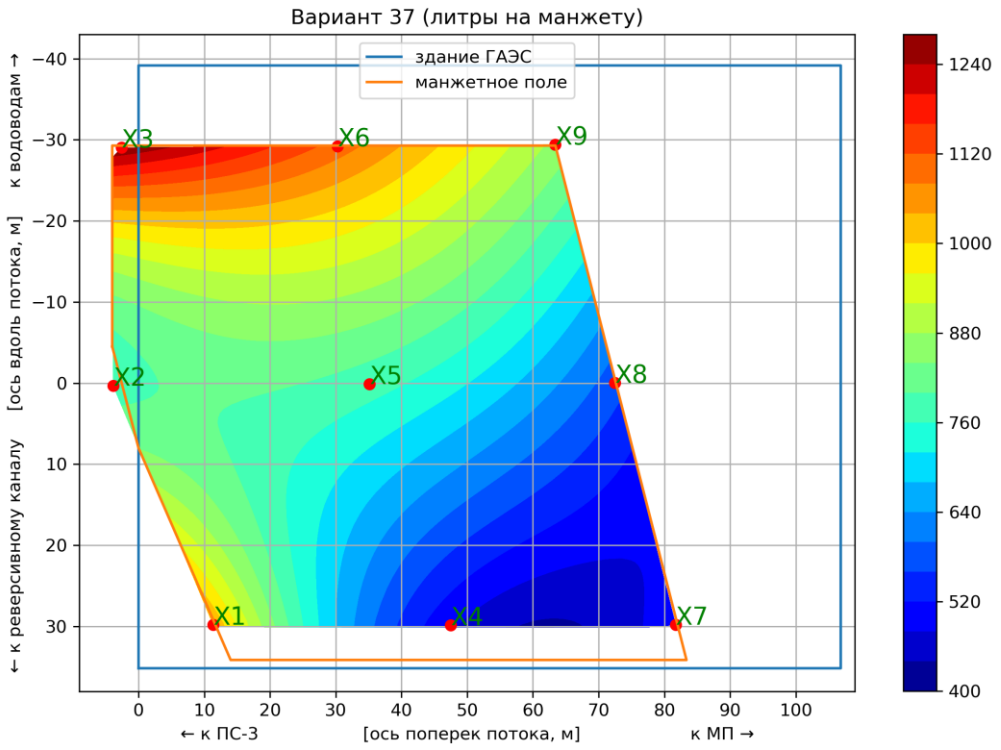


Рисунок Г.1.37.

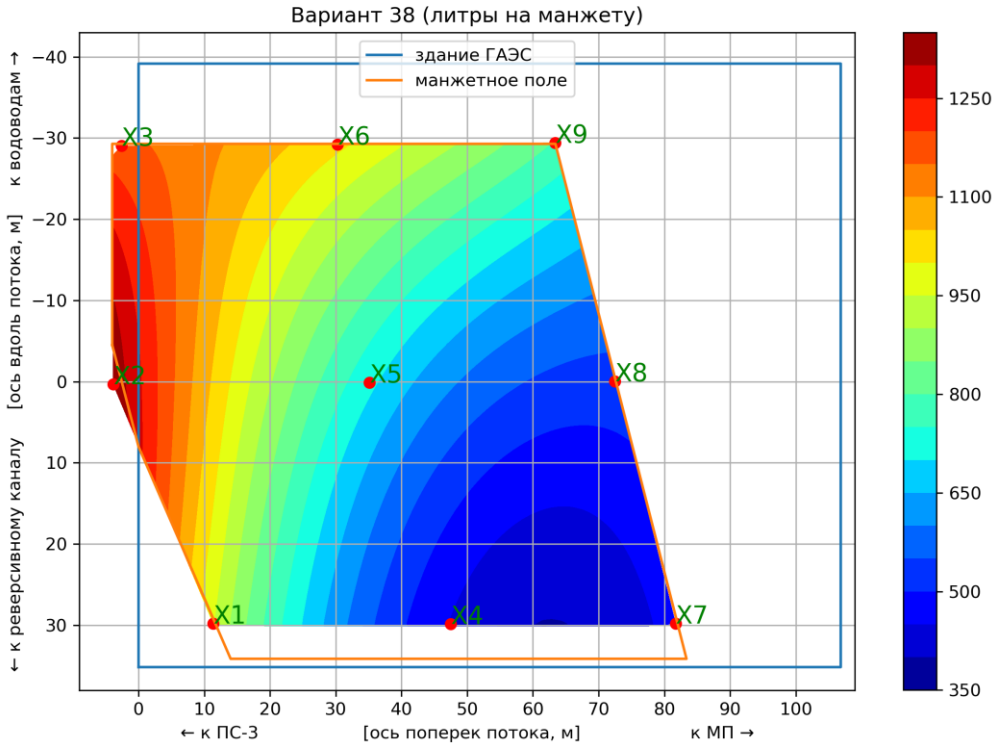


Рисунок Г.1.38.

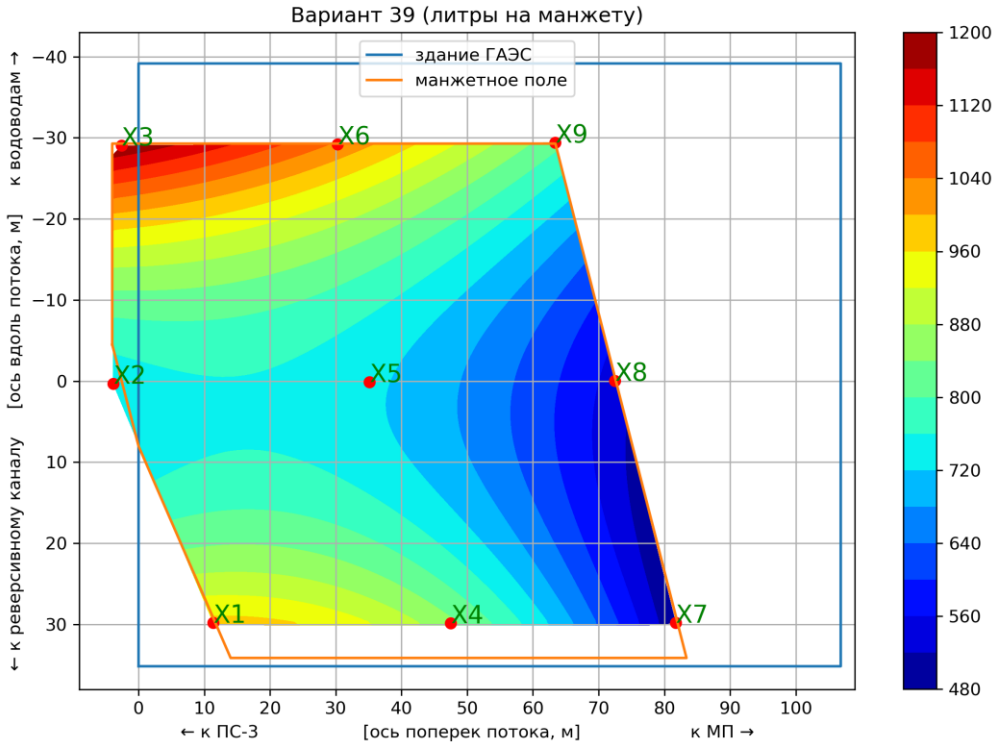


Рисунок Г.1.39.

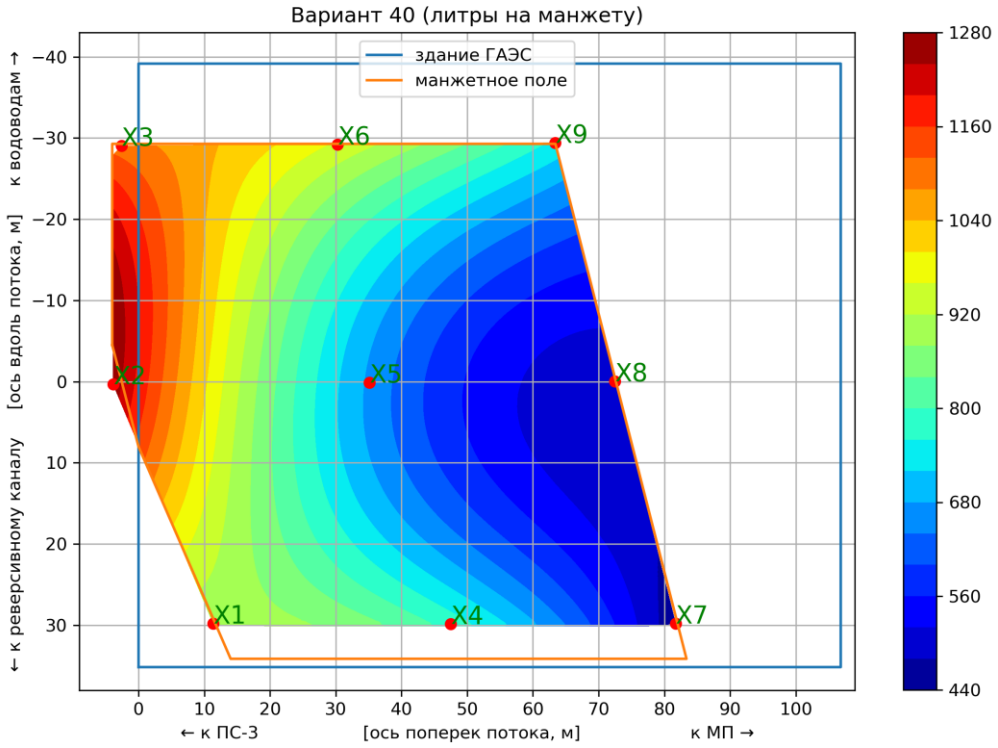


Рисунок Г.1.40.

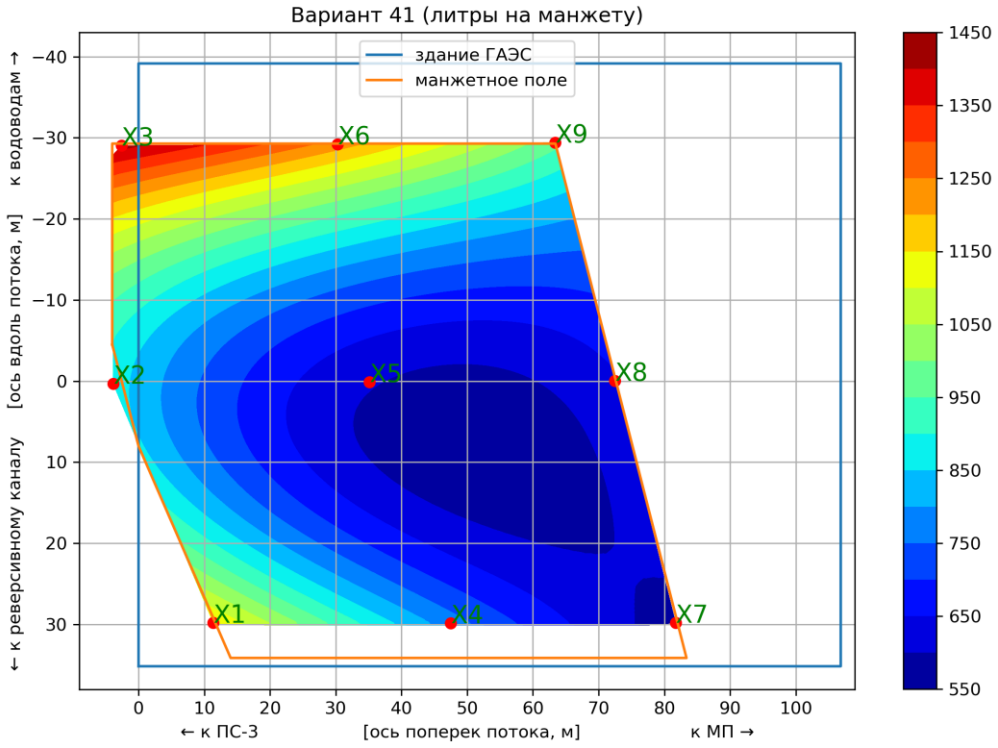


Рисунок Г.1.41.

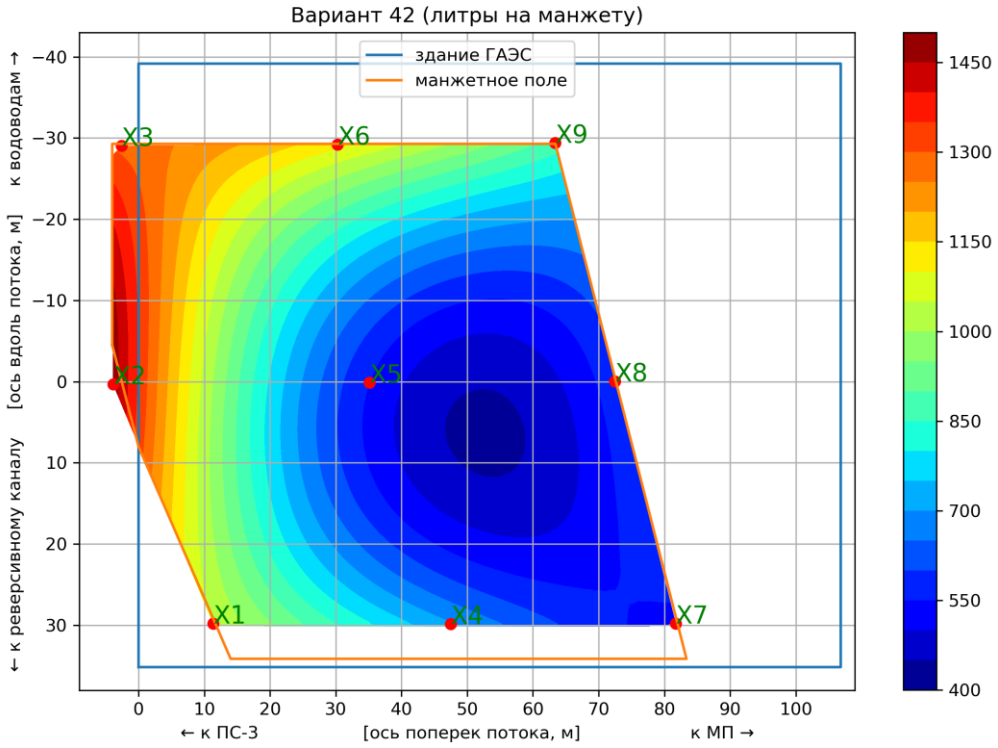


Рисунок Г.1.42.

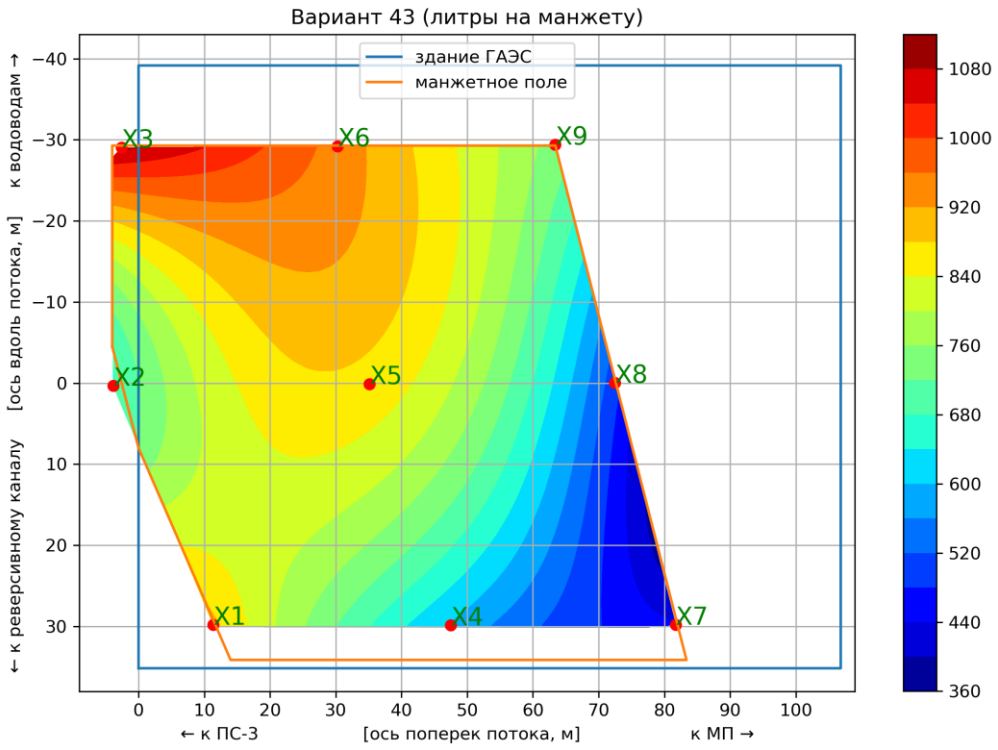


Рисунок Г.1.43.

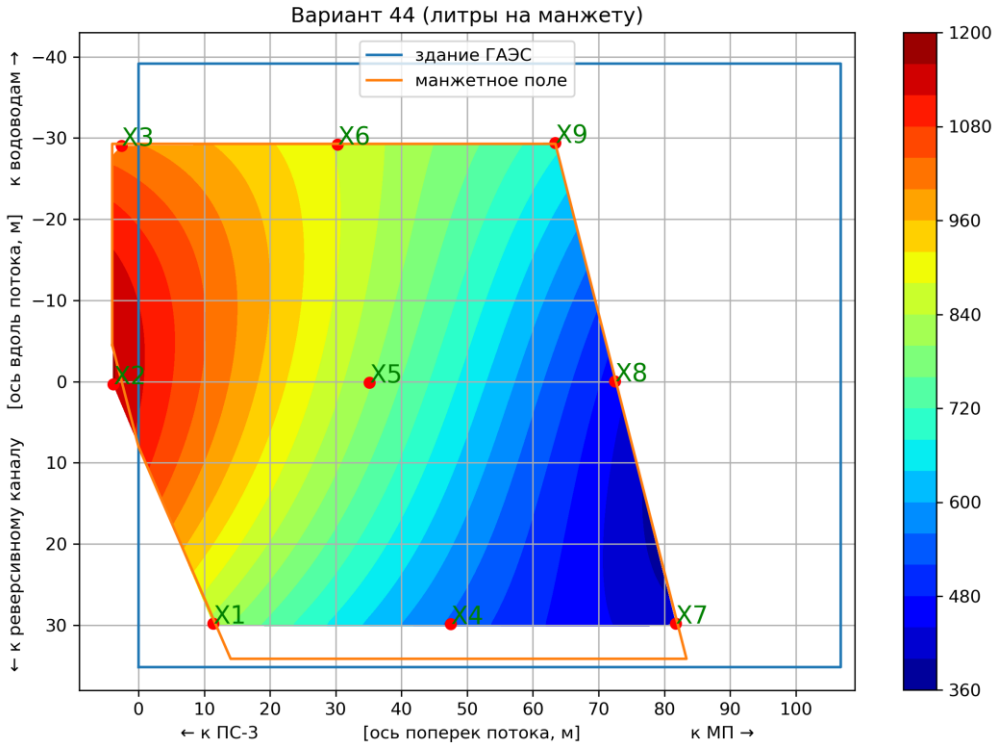


Рисунок Г.1.44.

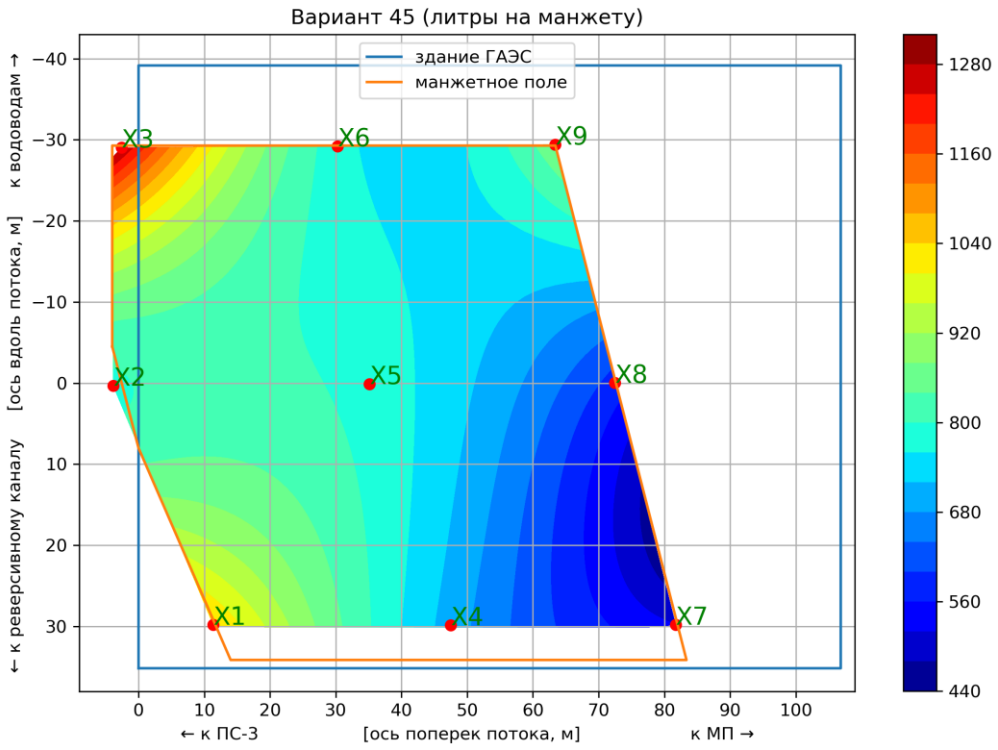


Рисунок Г.1.45.

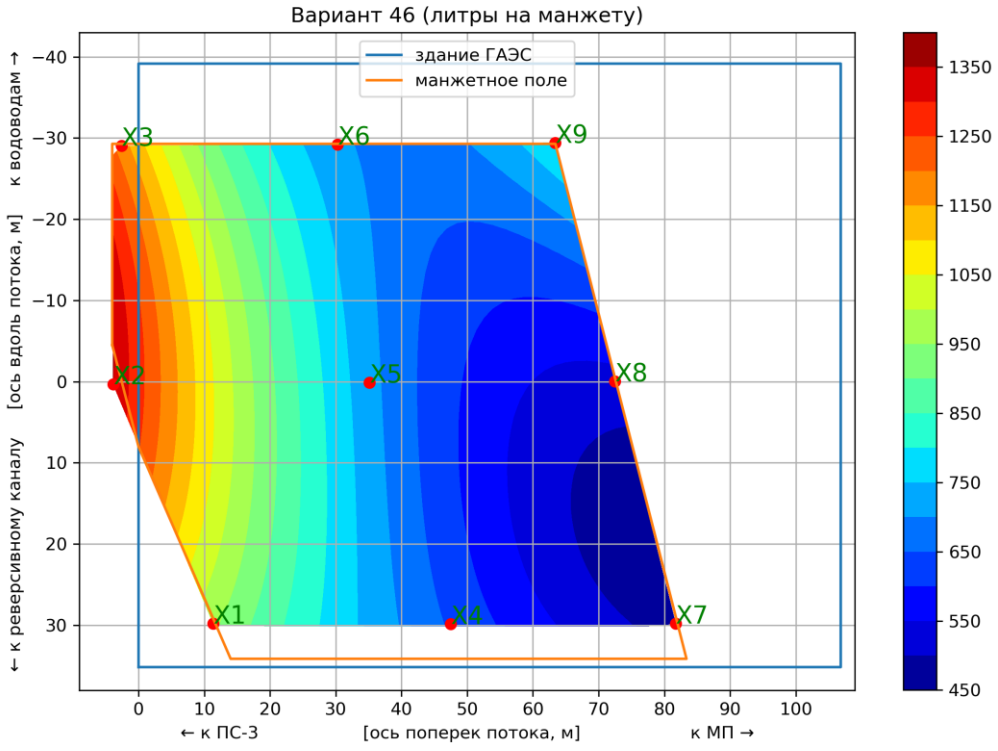


Рисунок Г.1.46.

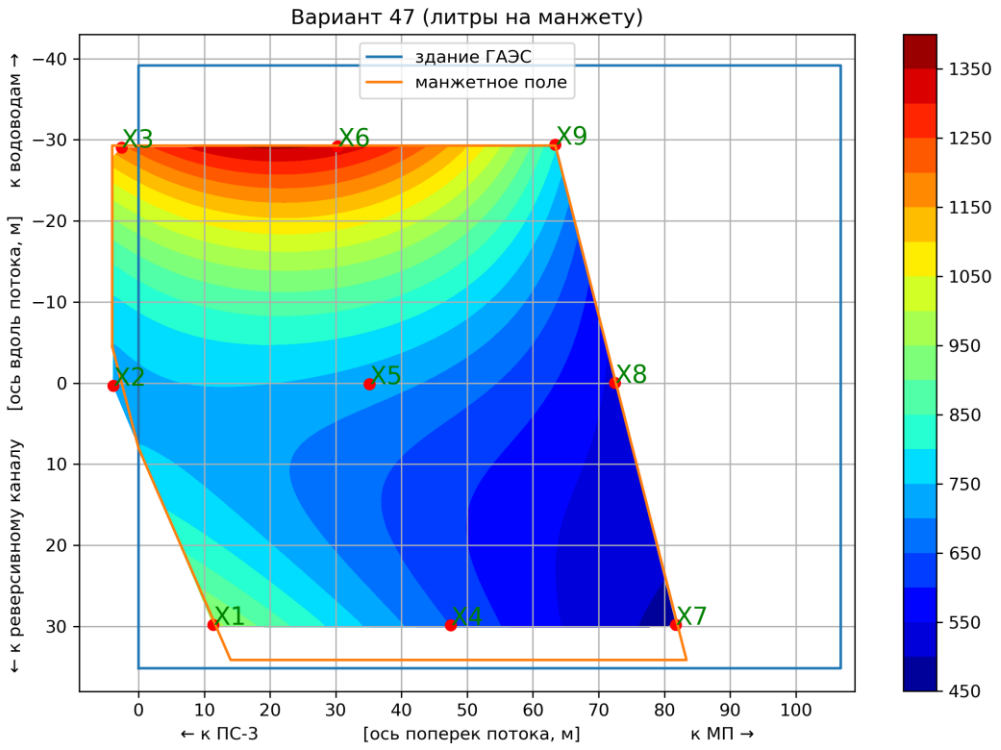


Рисунок Г.1.47.

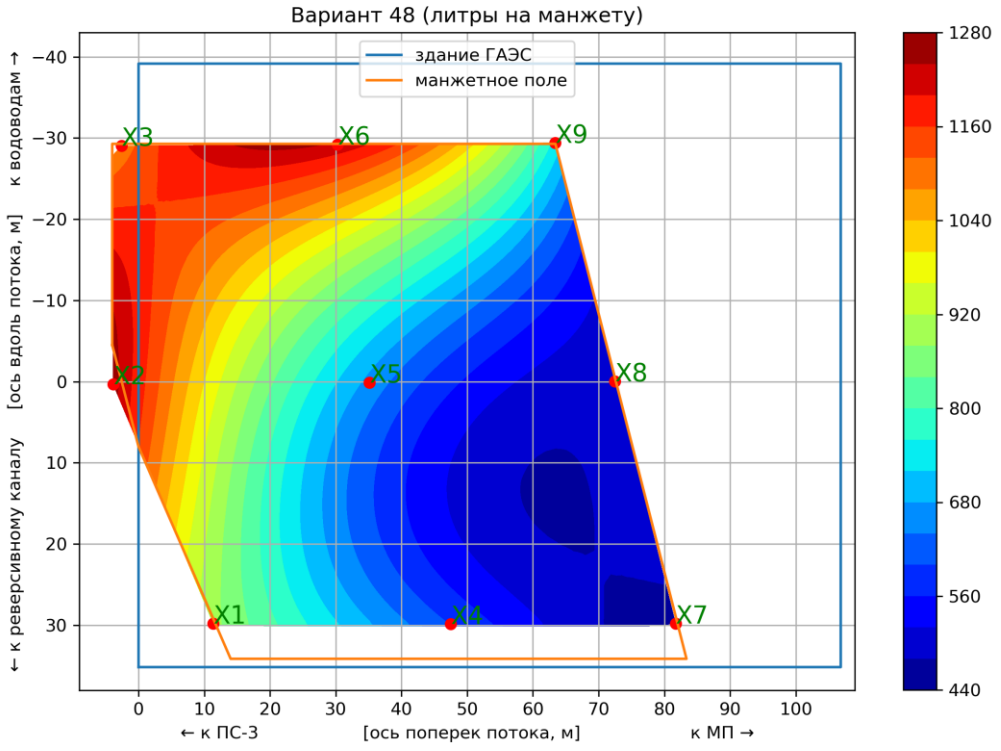


Рисунок Г.1.48.

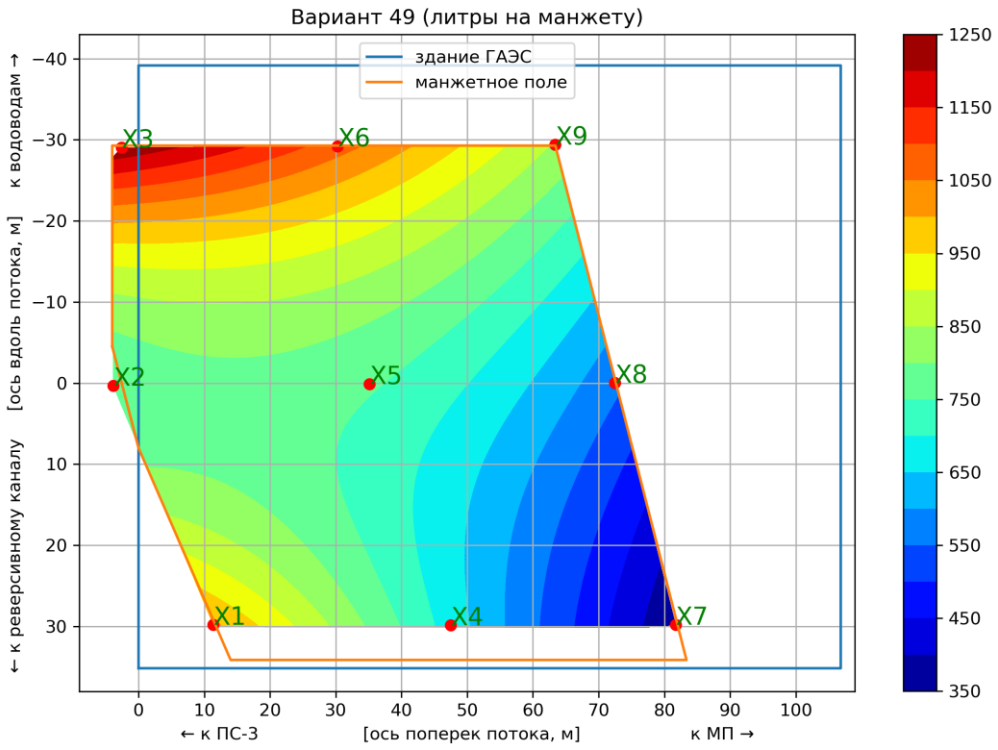


Рисунок Г.1.49.

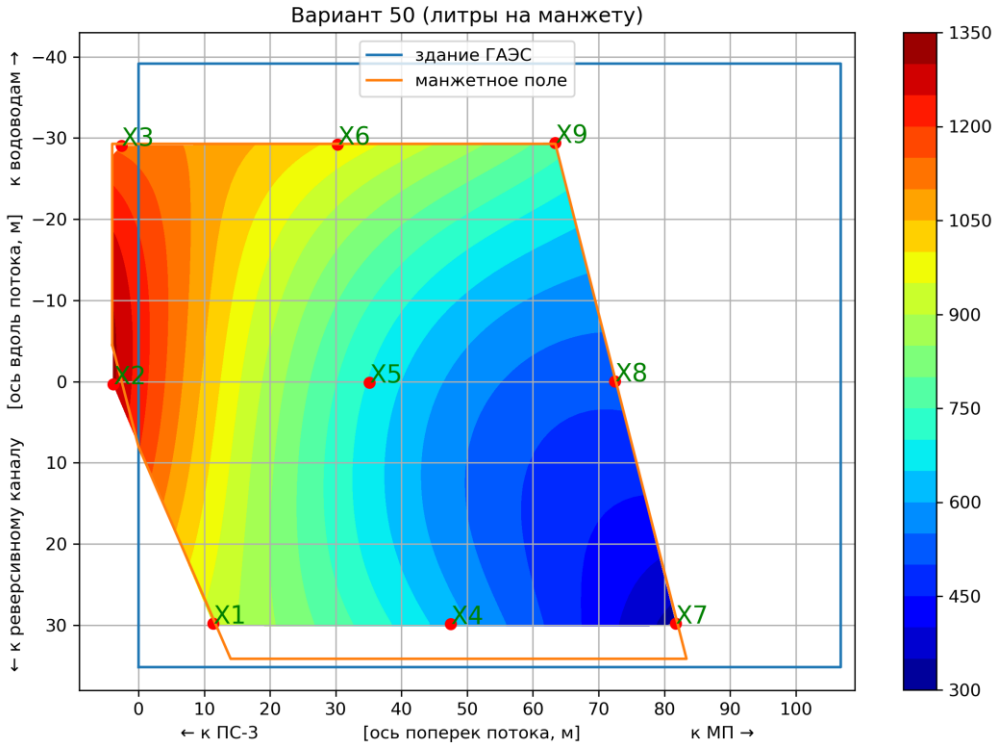


Рисунок Г.1.50.

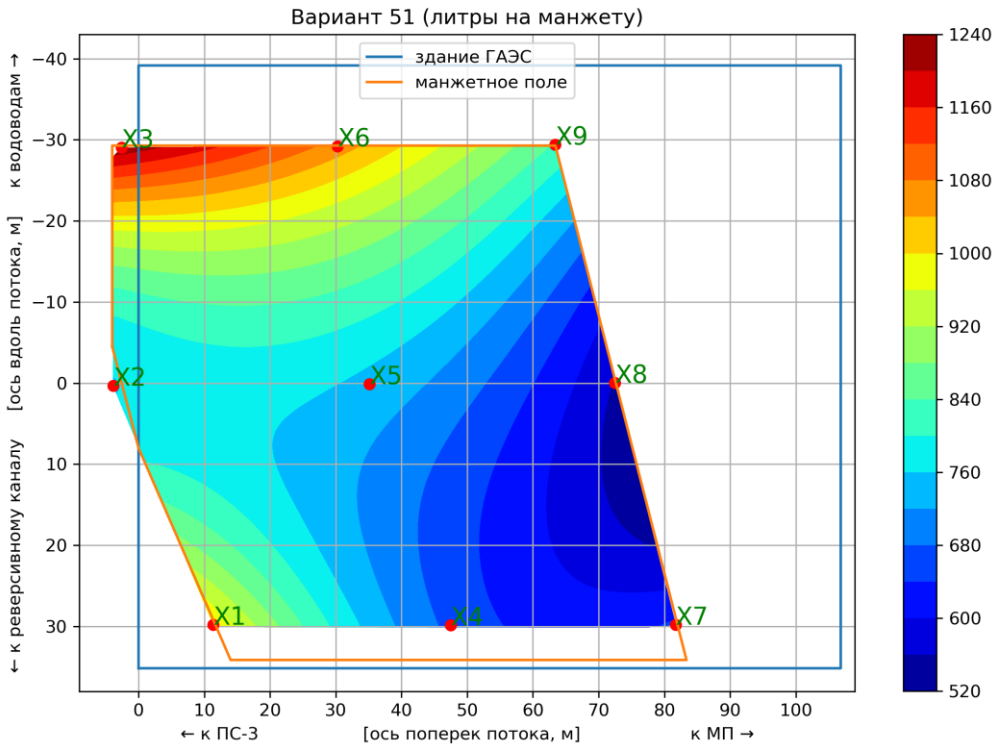


Рисунок Г.1.51.

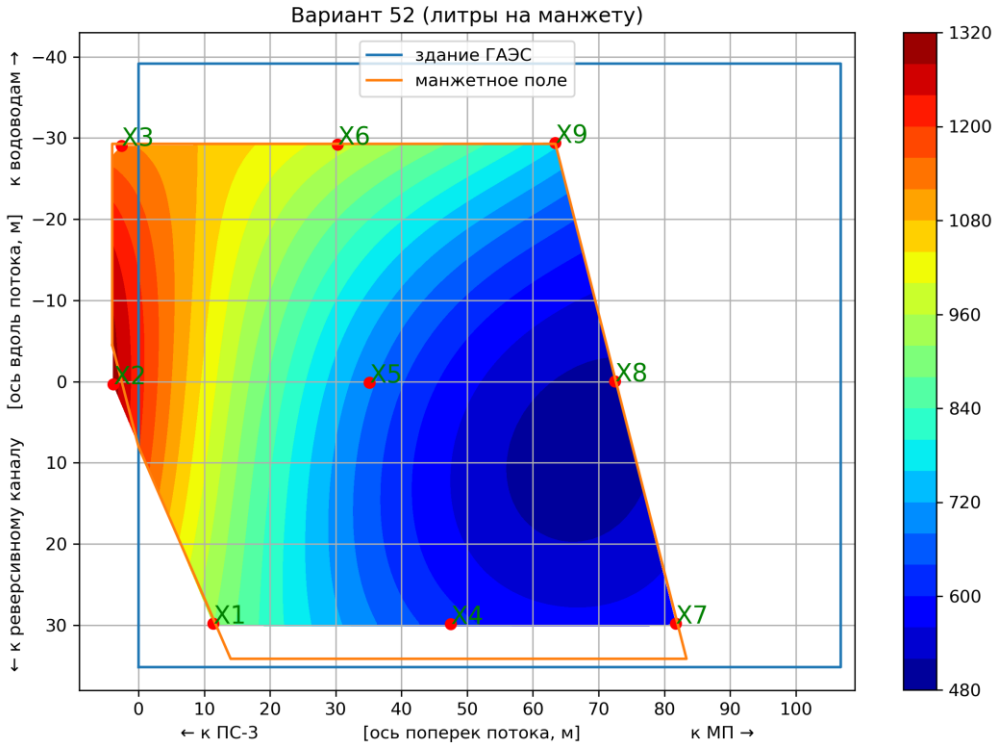


Рисунок Г.1.52.

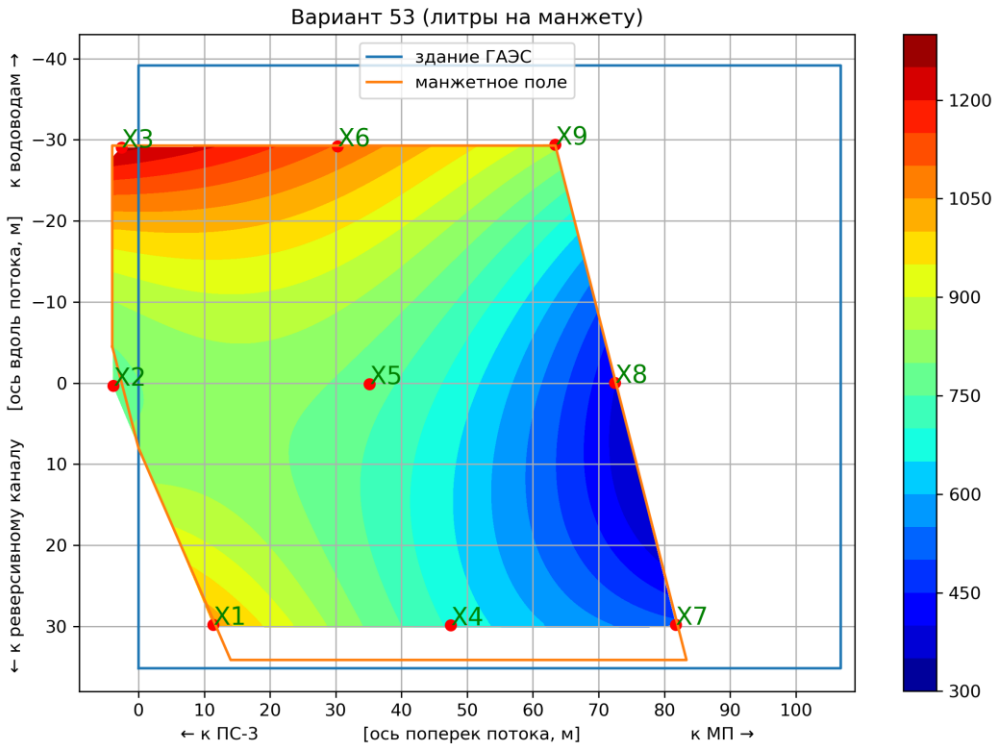


Рисунок Г.1.53.

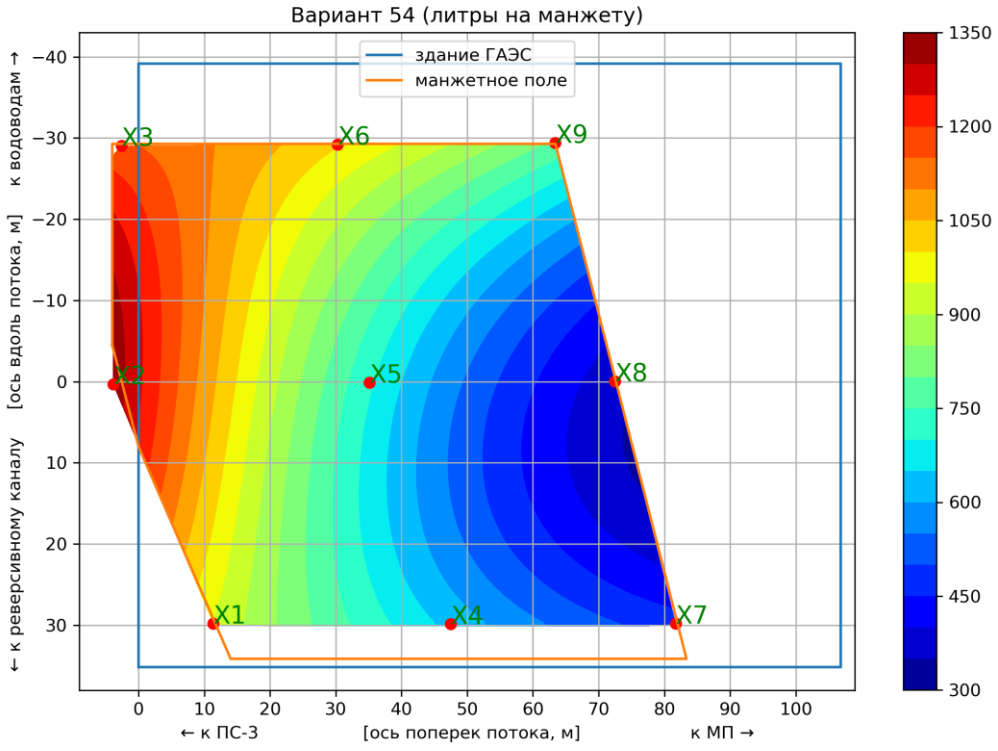


Рисунок Г.1.54.

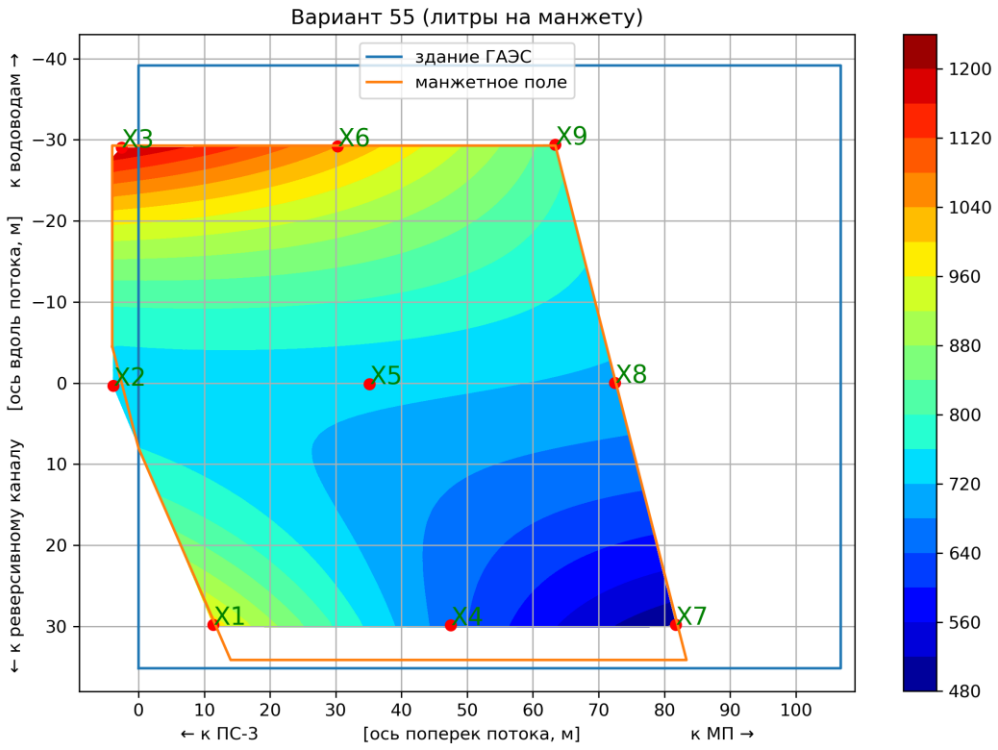


Рисунок Г.1.55.

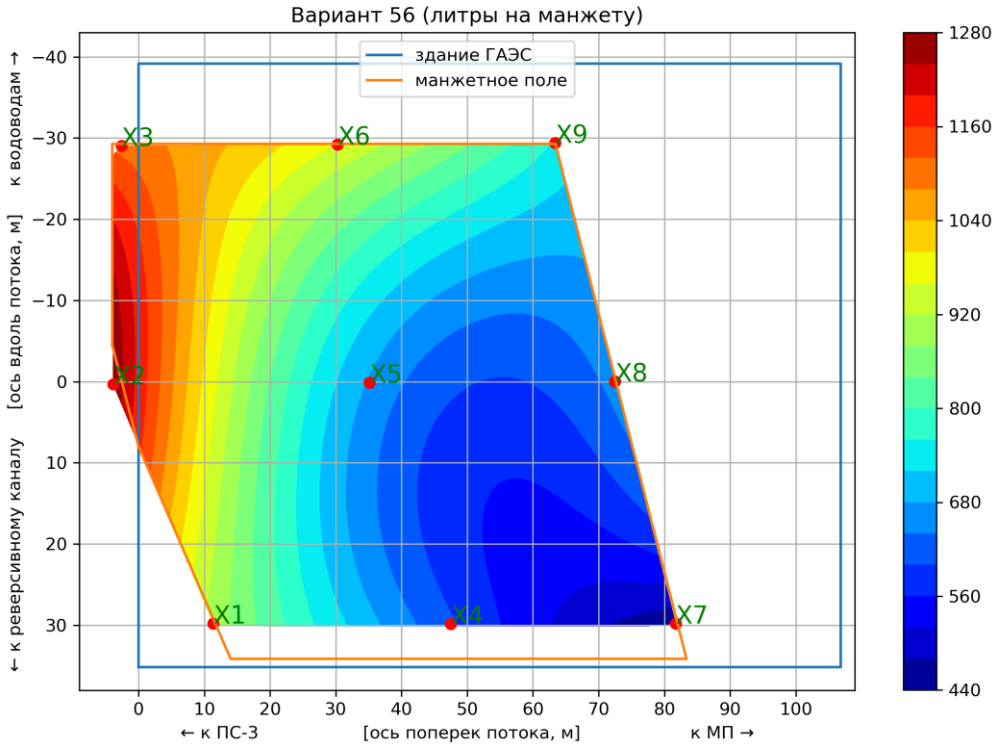


Рисунок Г.1.56.

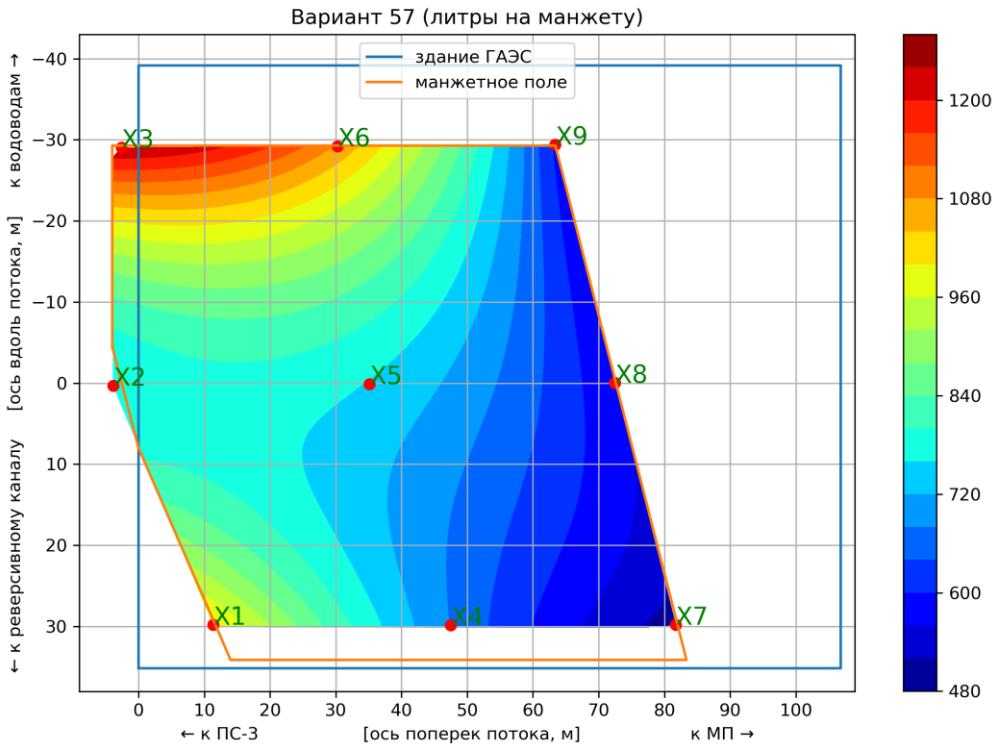


Рисунок Г.1.57.

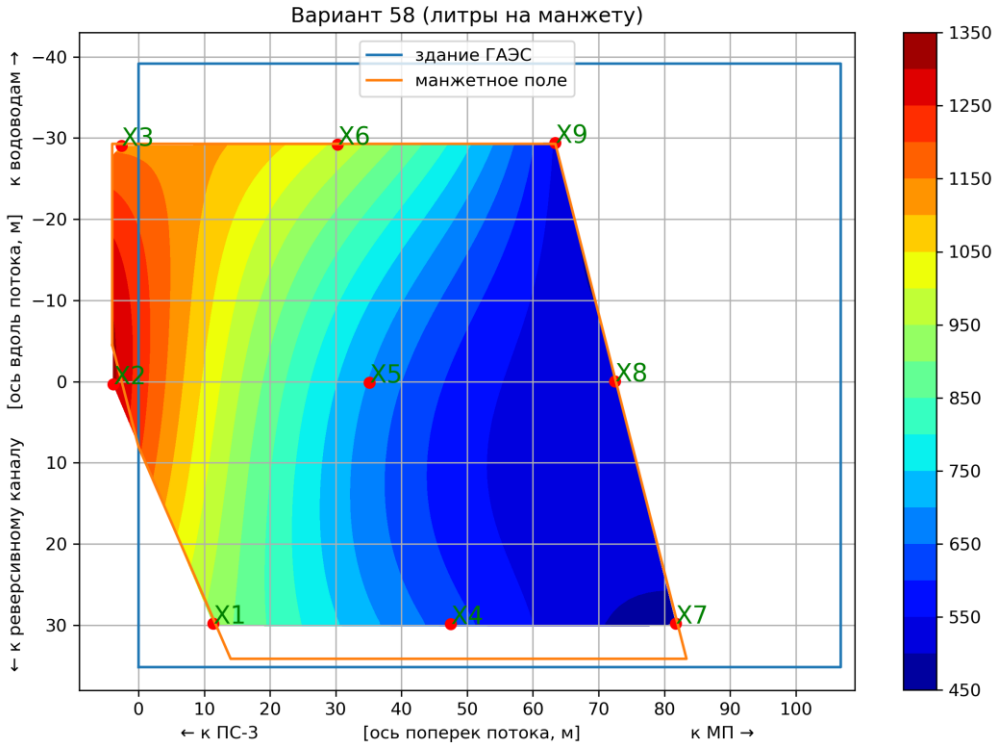


Рисунок Г.1.58.

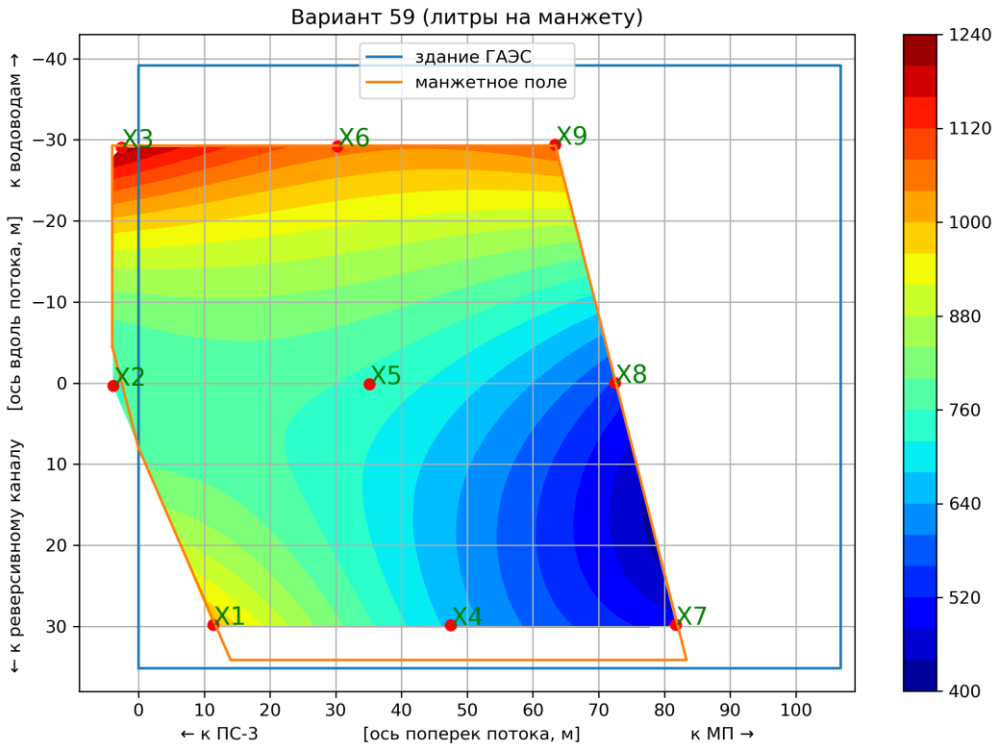


Рисунок Г.1.59.

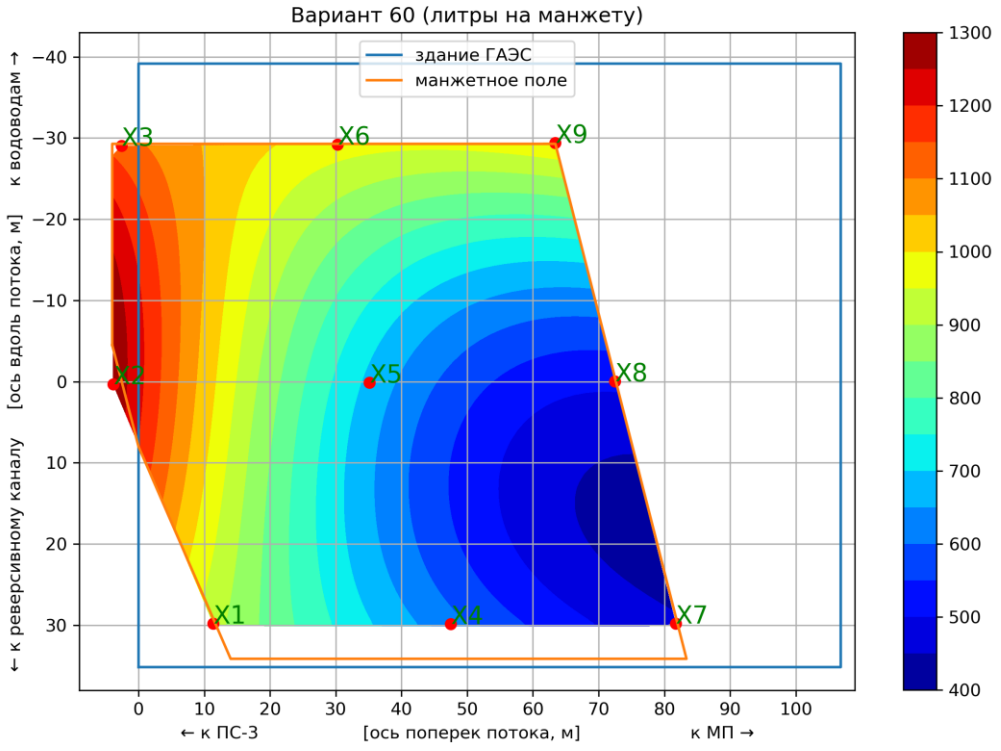


Рисунок Г.1.60.

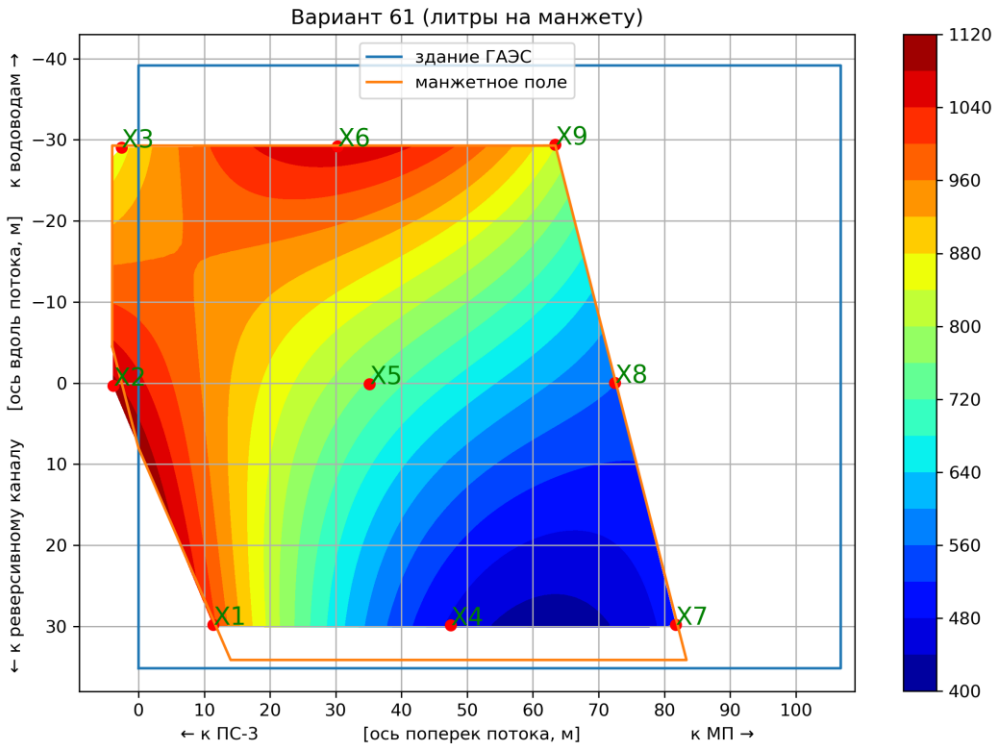


Рисунок Г.1.61.

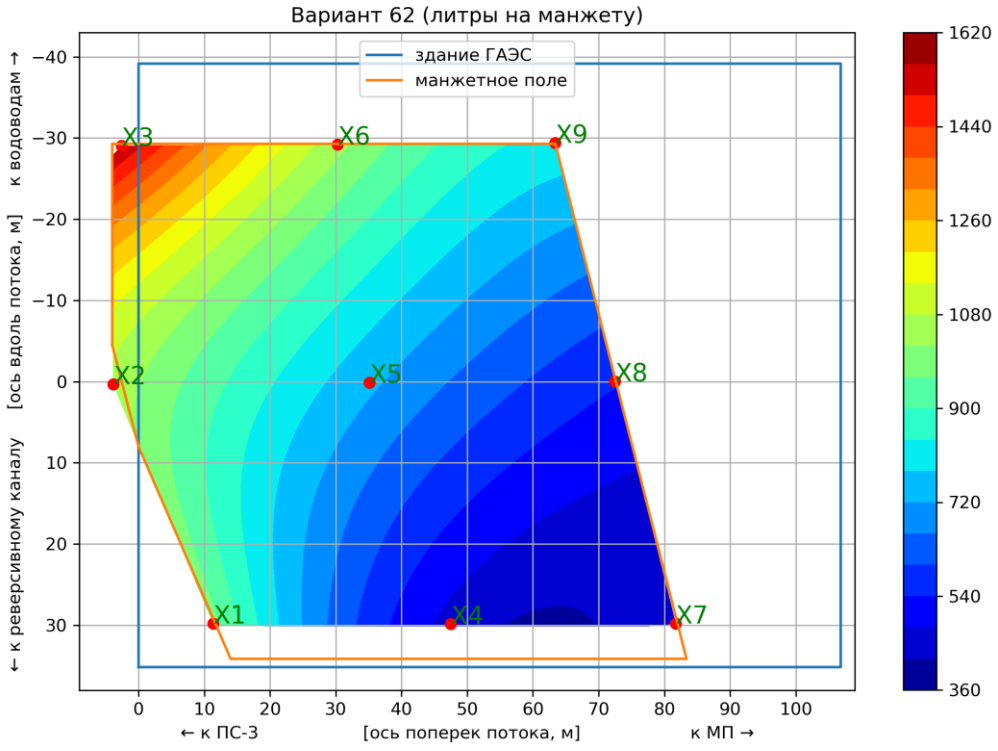


Рисунок Г.1.62.

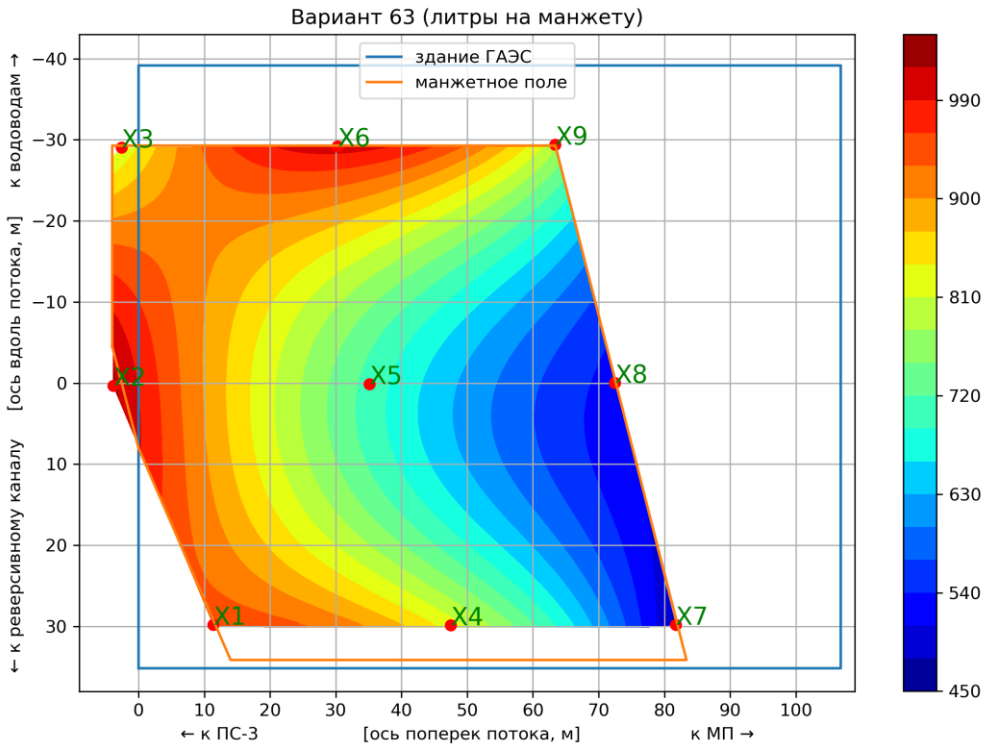


Рисунок Г.1.63.

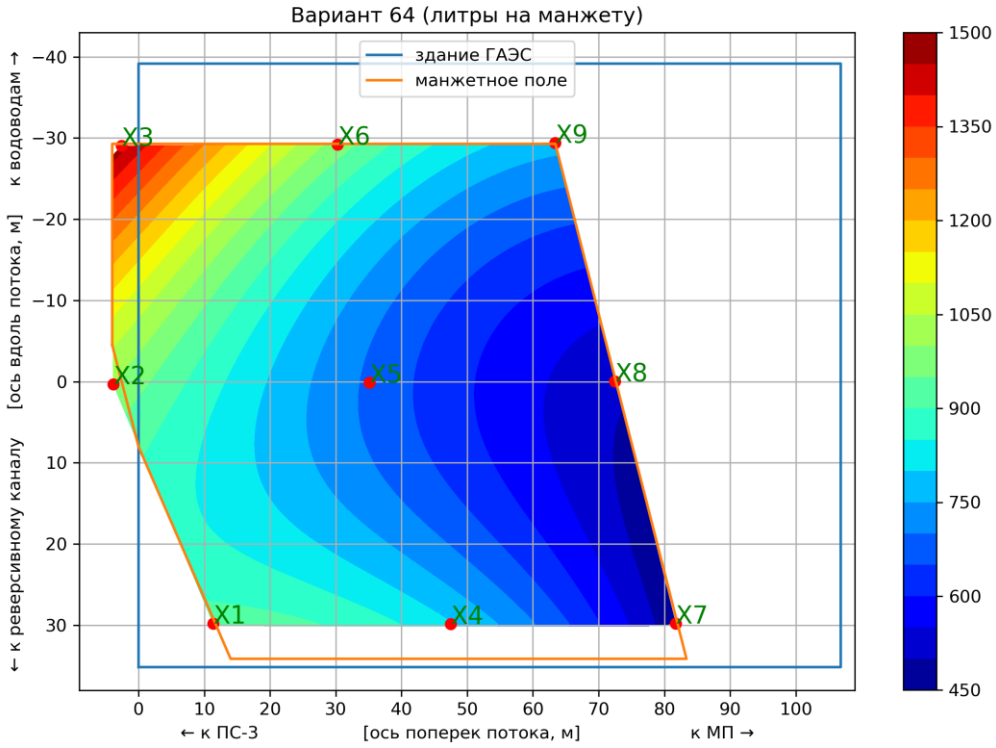


Рисунок Г.1.64.

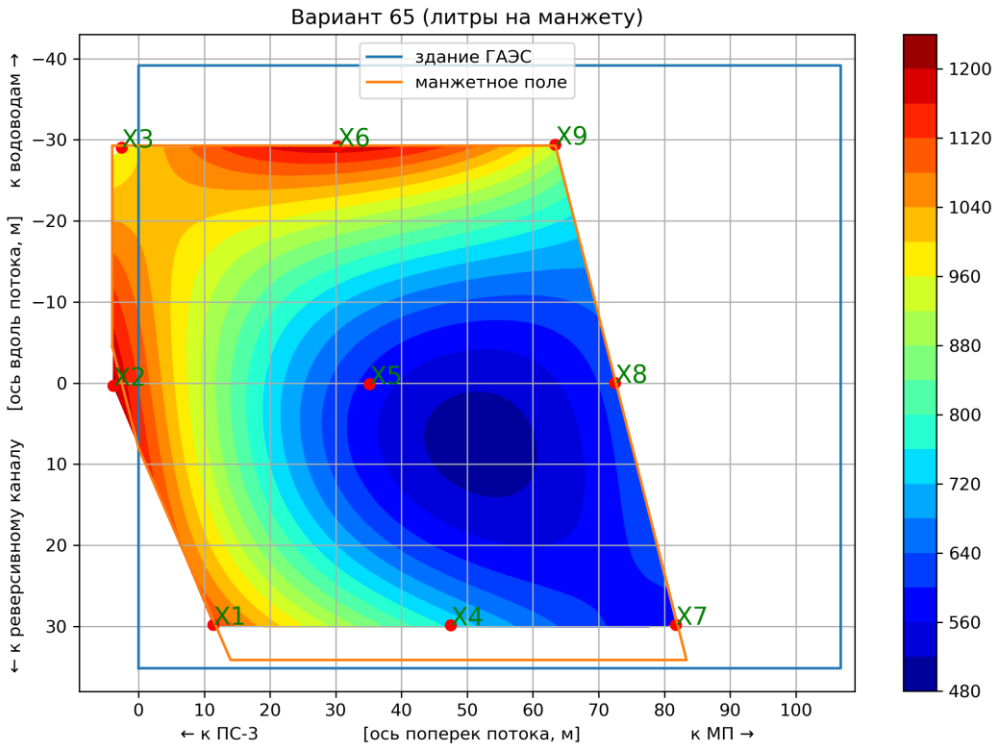


Рисунок Г.1.65.

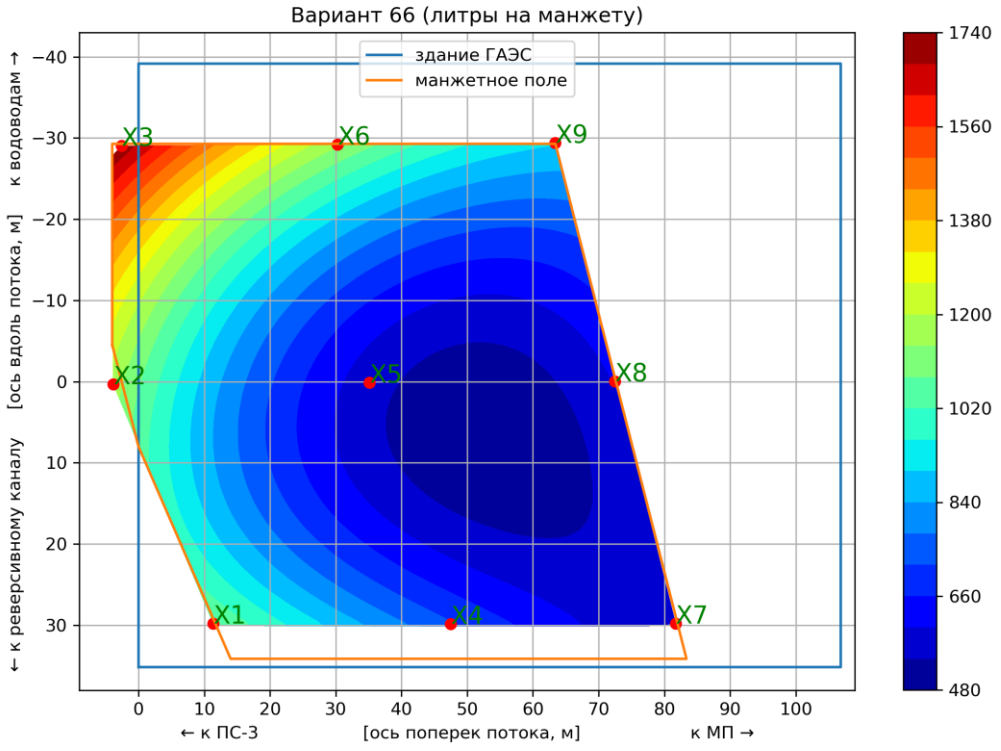


Рисунок Г.1.66.

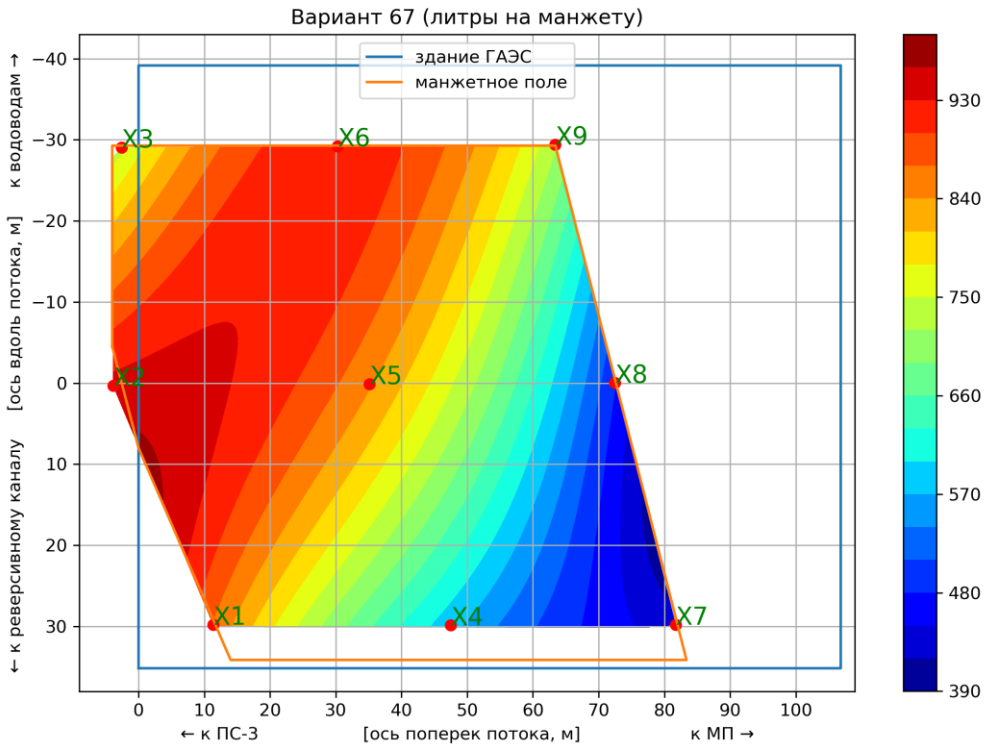


Рисунок Г.1.67.

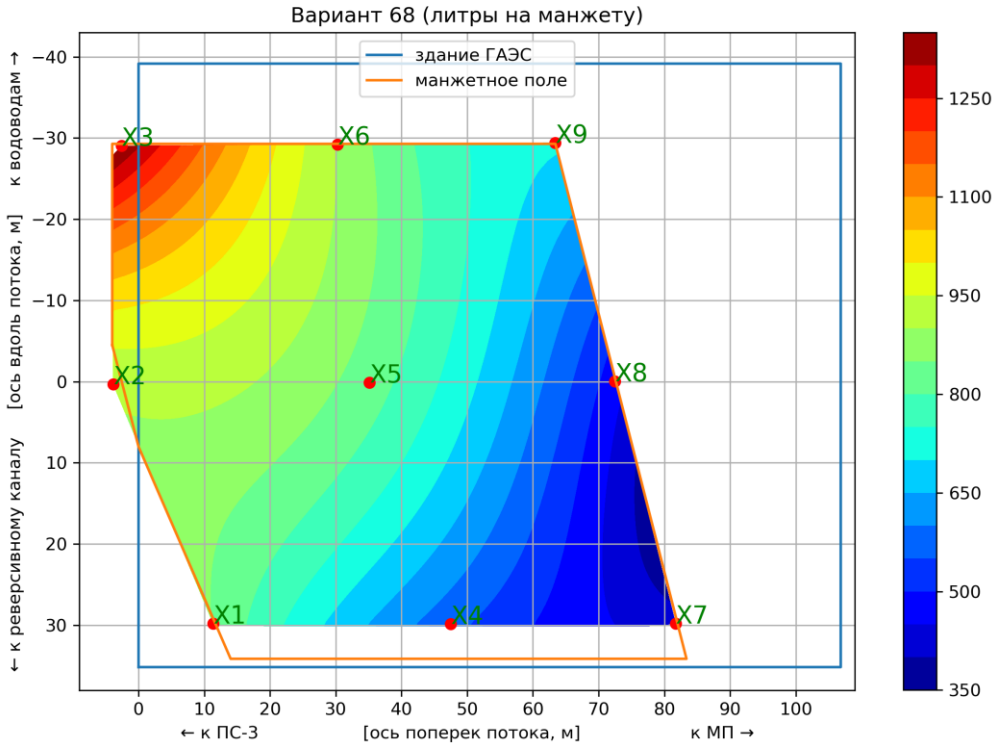


Рисунок Г.1.68.

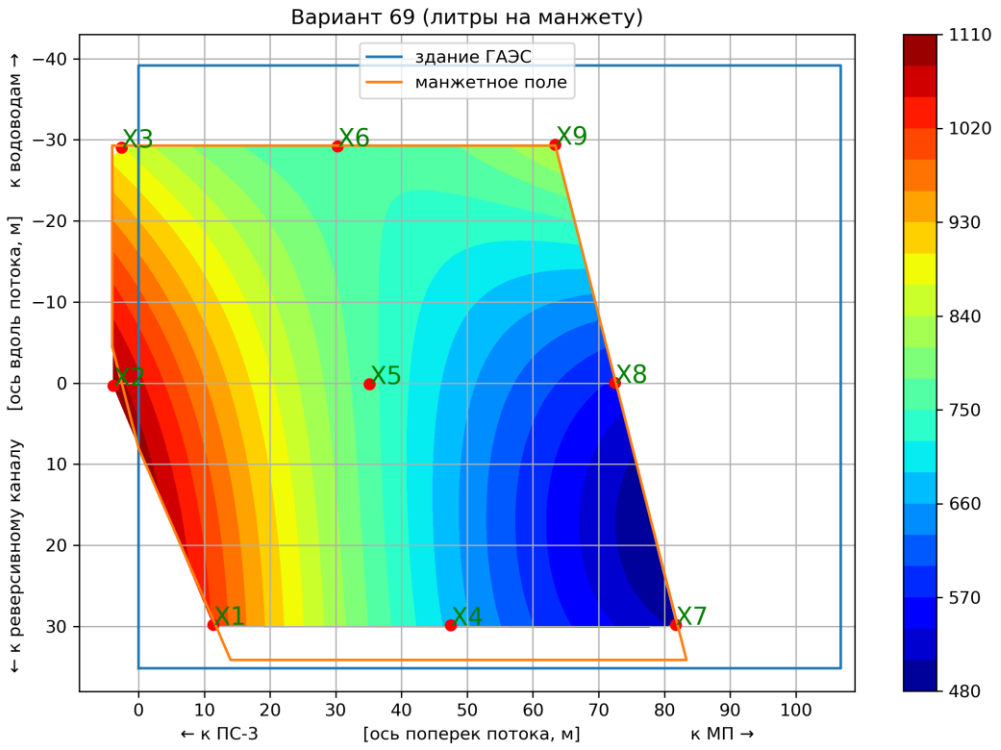


Рисунок Г.1.69.

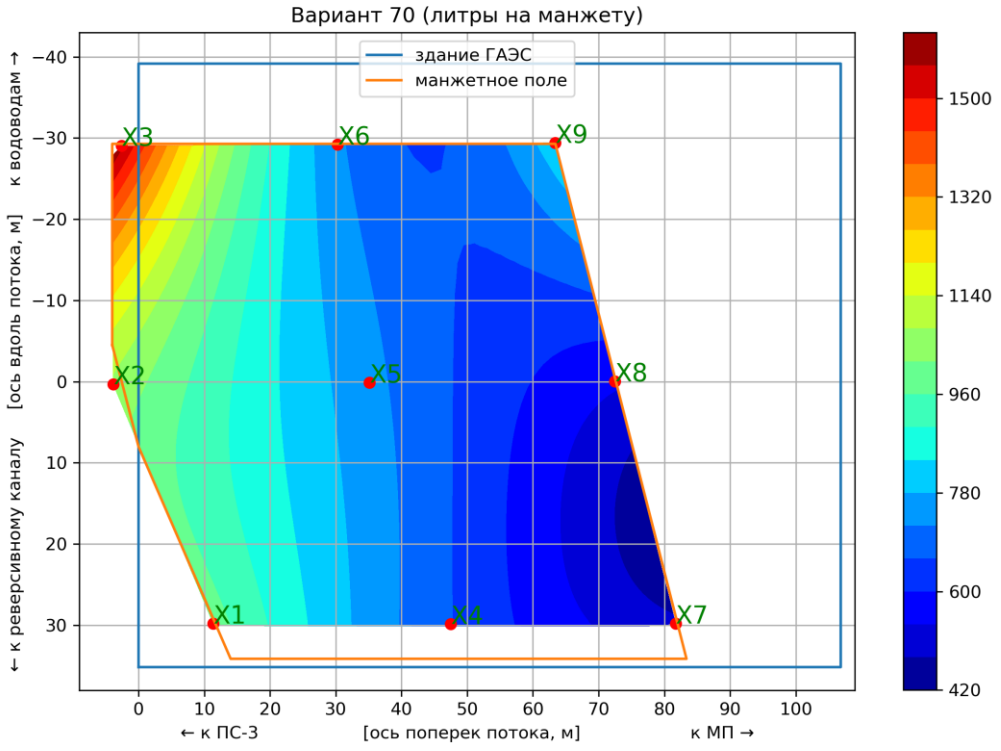


Рисунок Г.1.70.

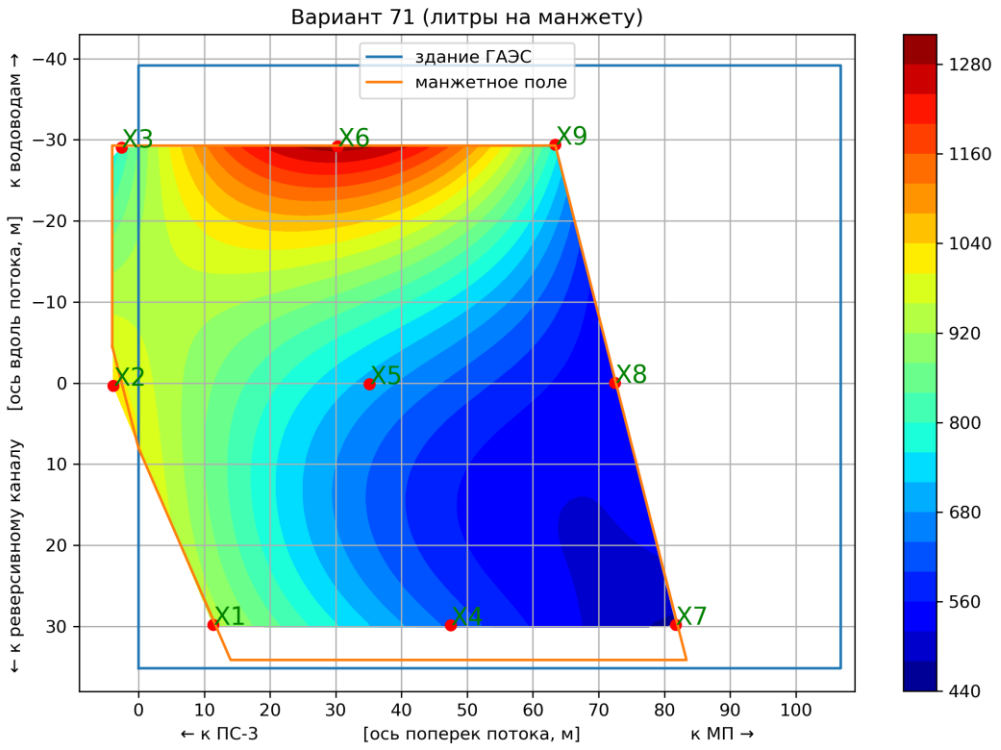


Рисунок Г.1.71.

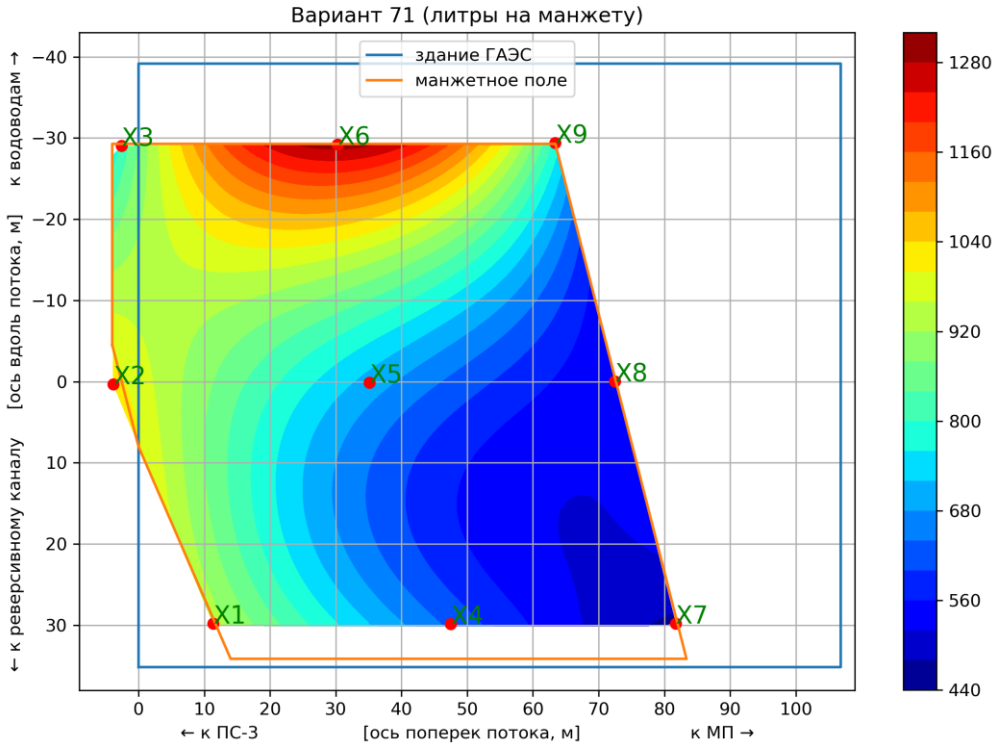


Рисунок Г.1.72.

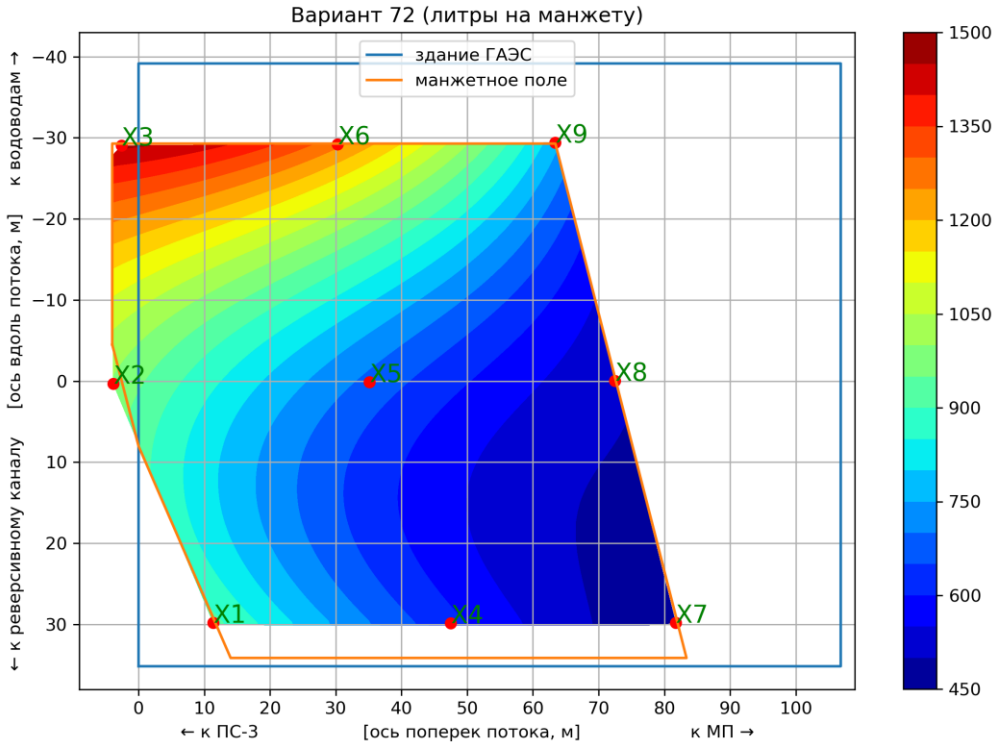


Рисунок Г.1.73.

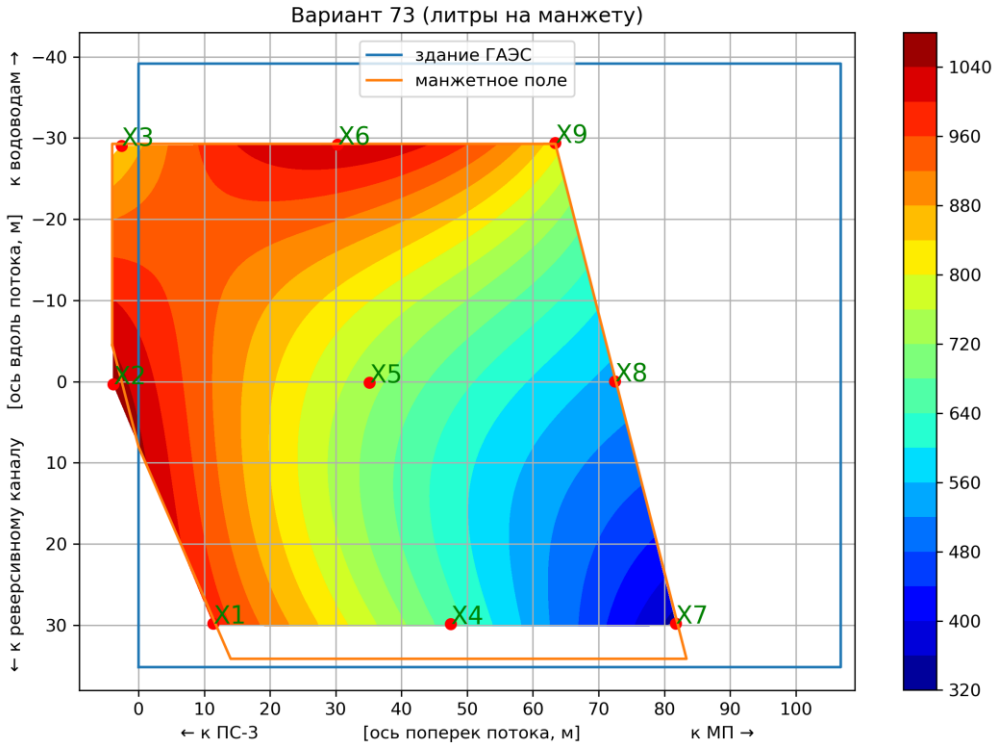


Рисунок Г.1.74.

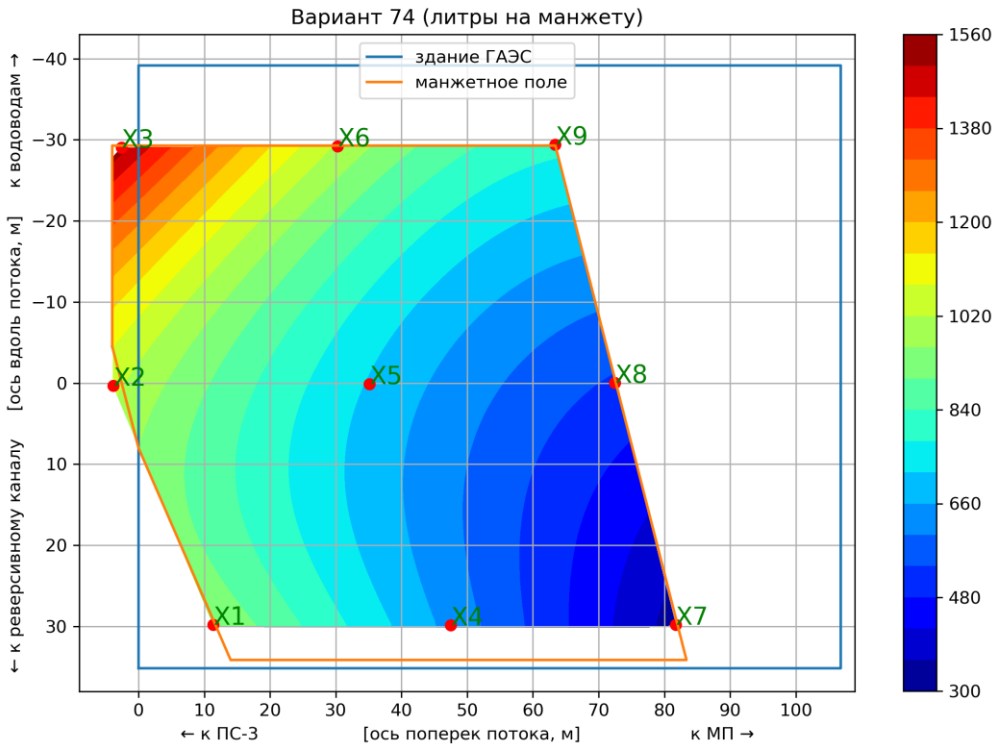


Рисунок Г.1.75.

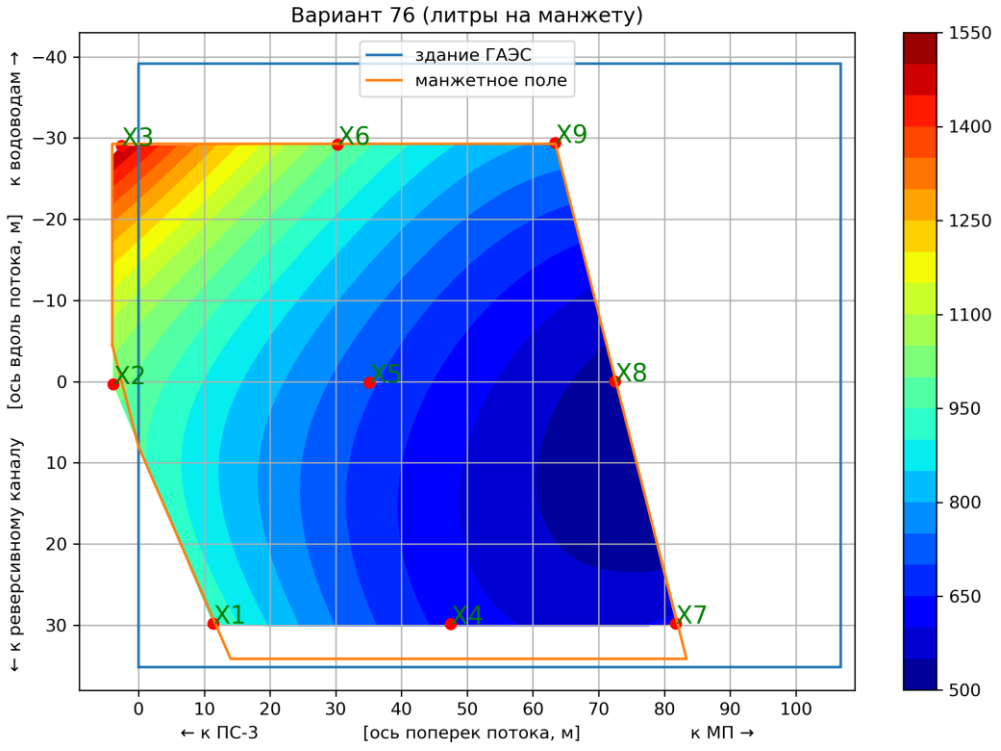


Рисунок Г.1.76.

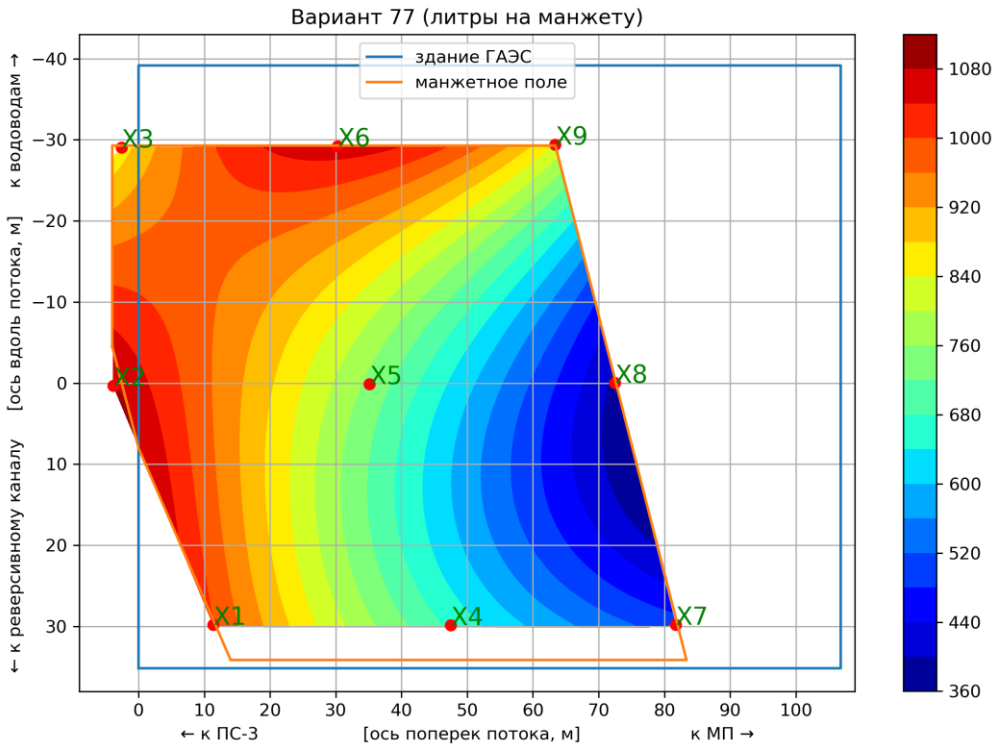


Рисунок Г.1.77.

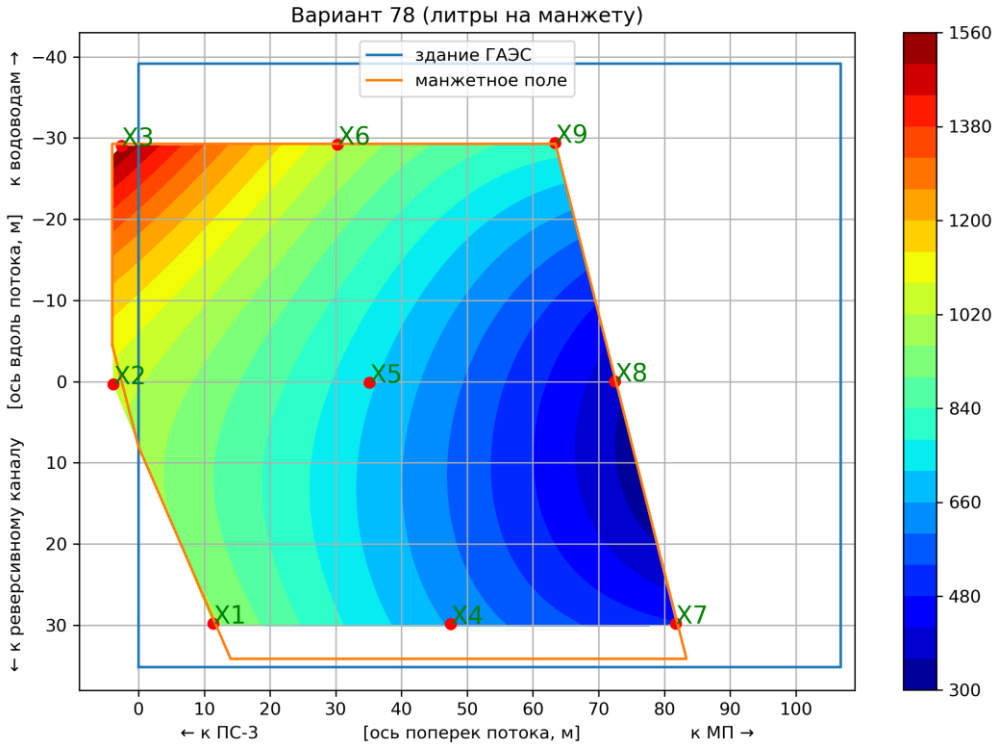


Рисунок Г.1.78.

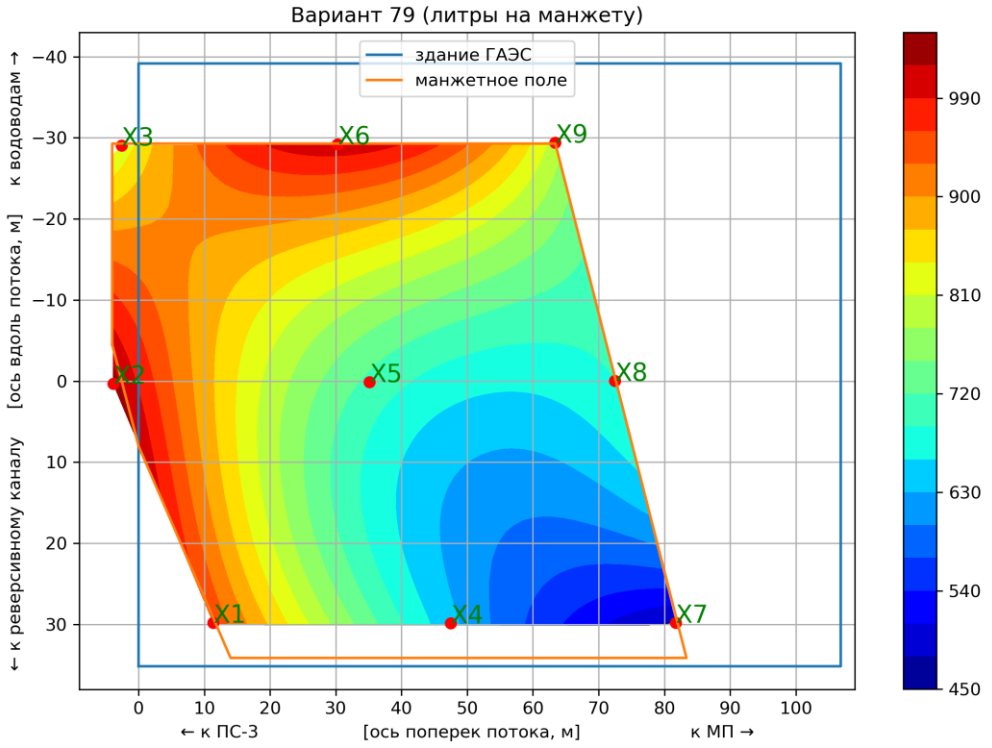


Рисунок Г.1.79.

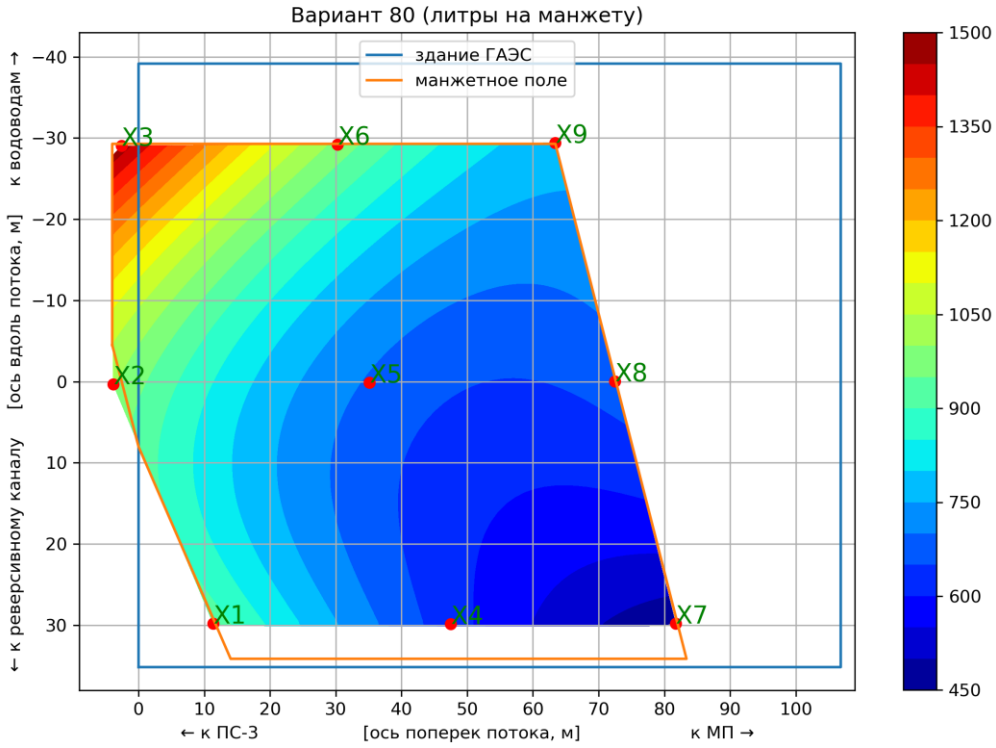


Рисунок Г.1.80.

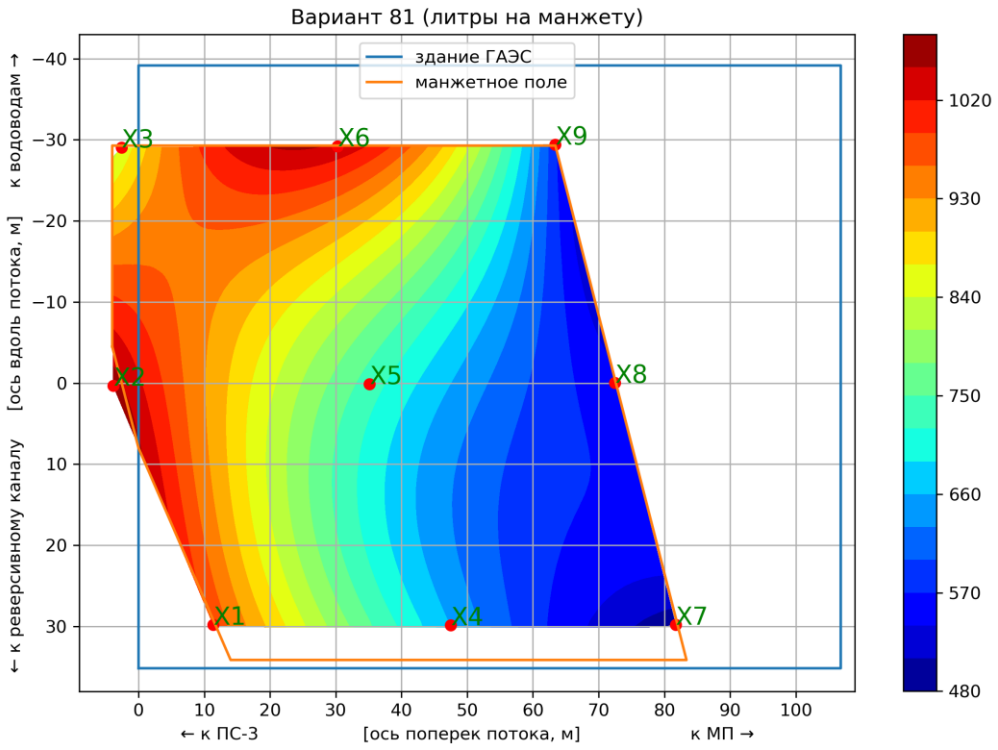


Рисунок Г.1.81.

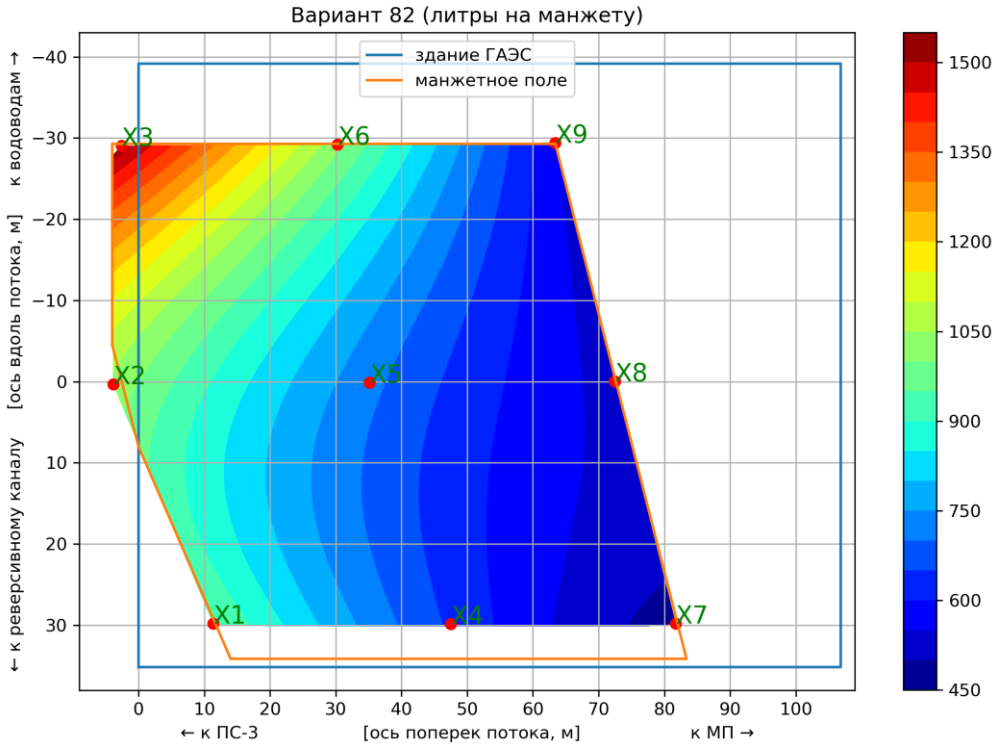


Рисунок Г.1.82.

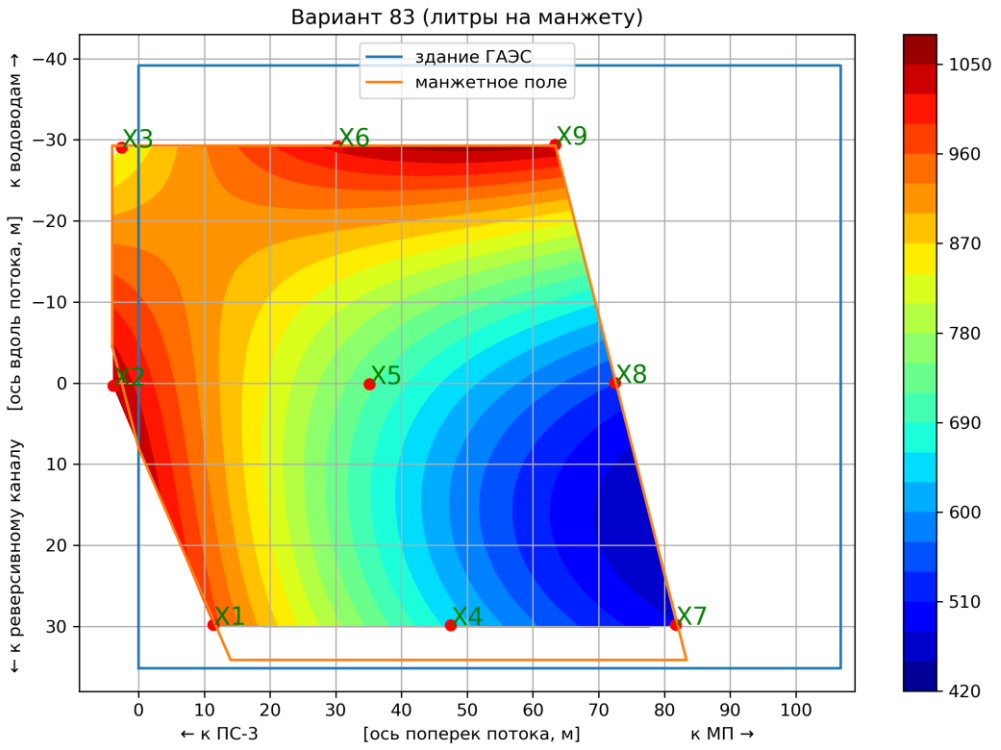


Рисунок Г.1.83.

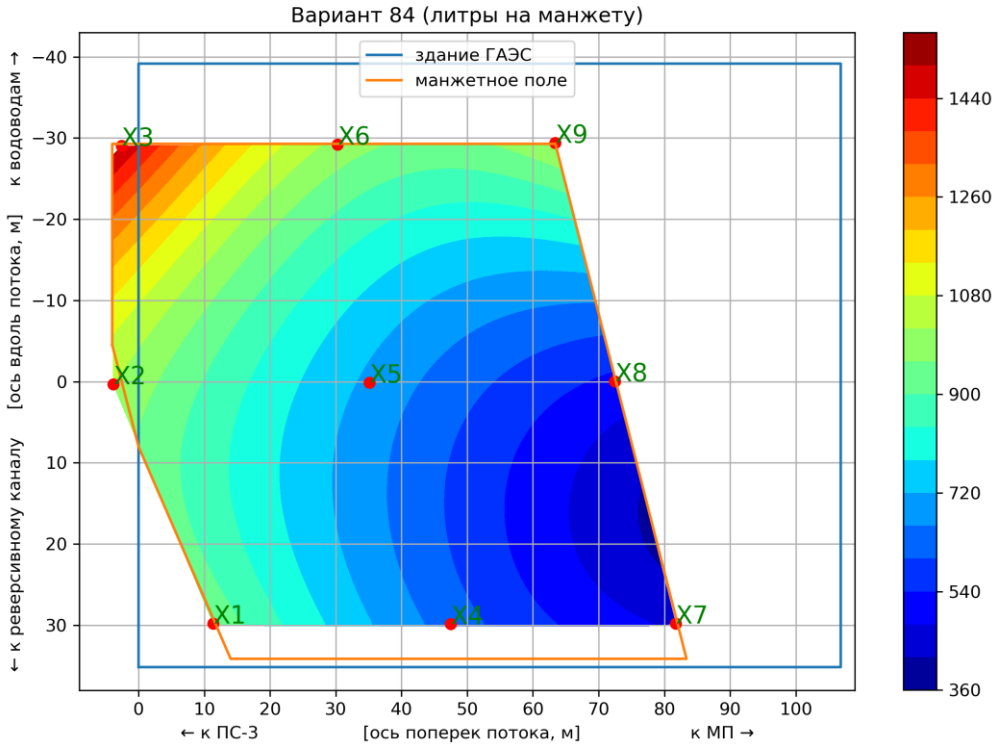


Рисунок Г.1.84.

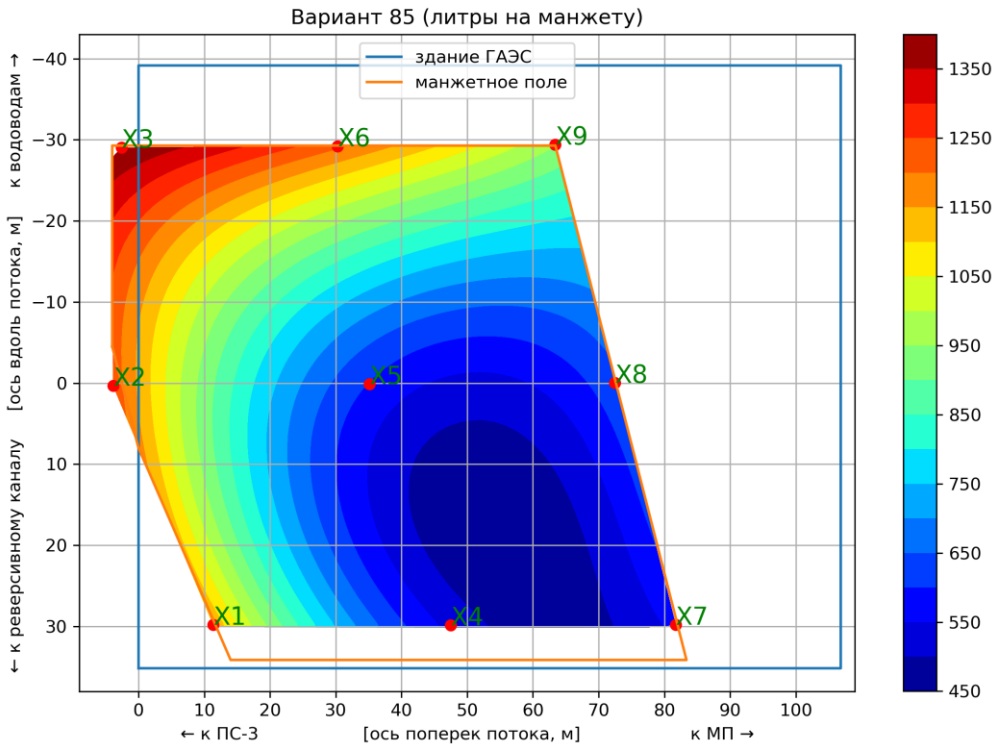


Рисунок Г.1.85.

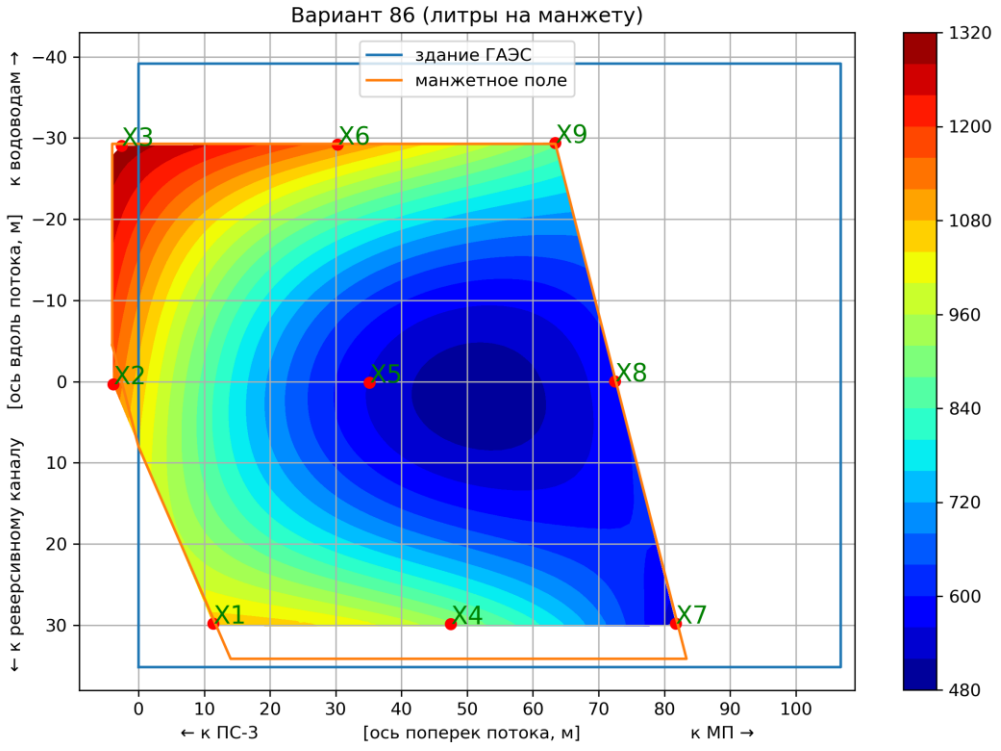


Рисунок Г.1.86.

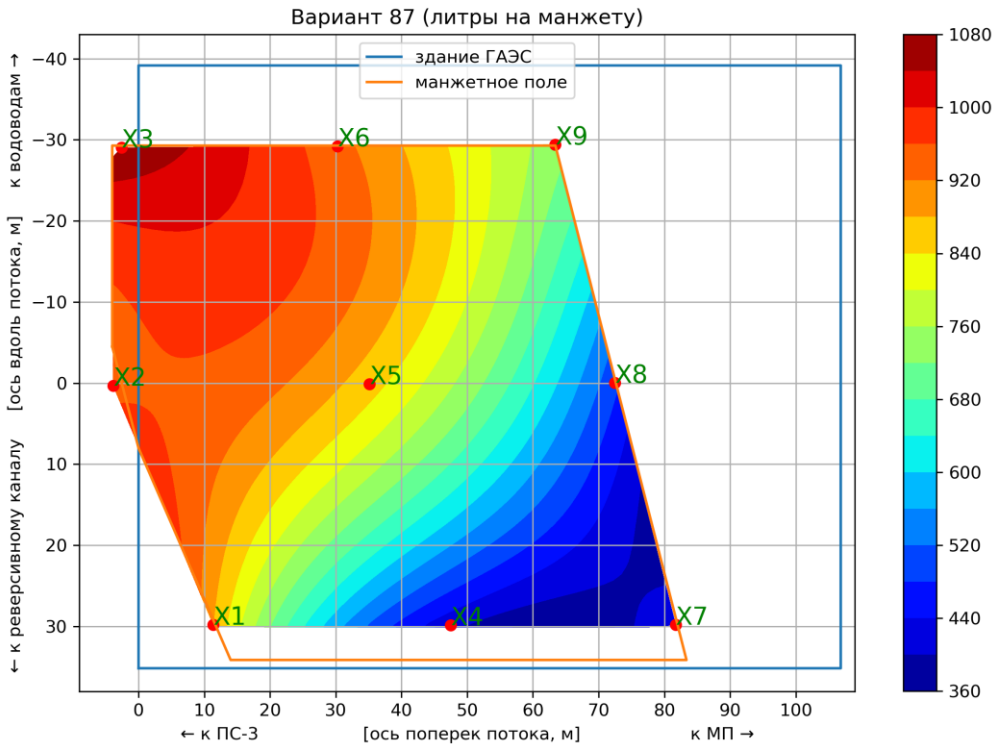


Рисунок Г.1.87.

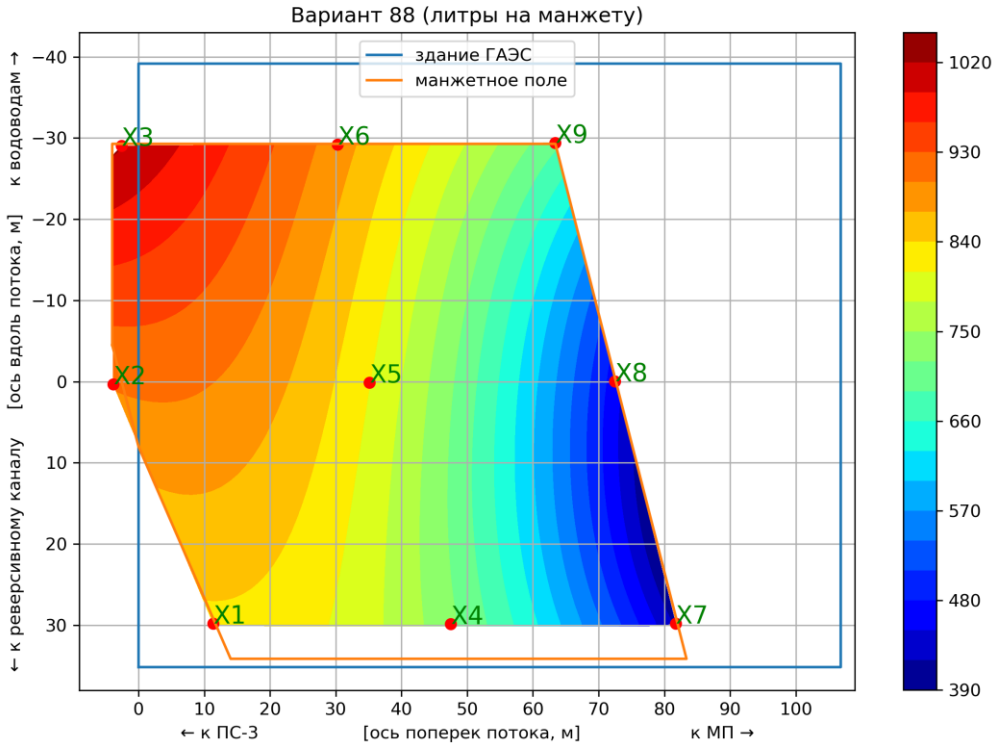


Рисунок Г.1.88.

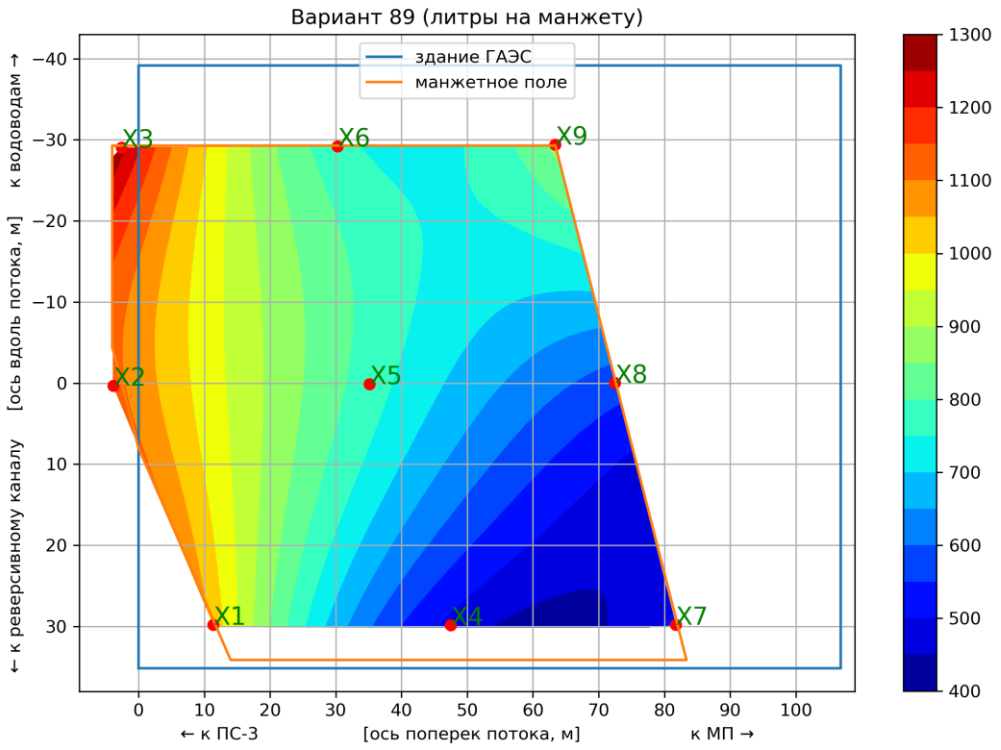


Рисунок Г.1.89.

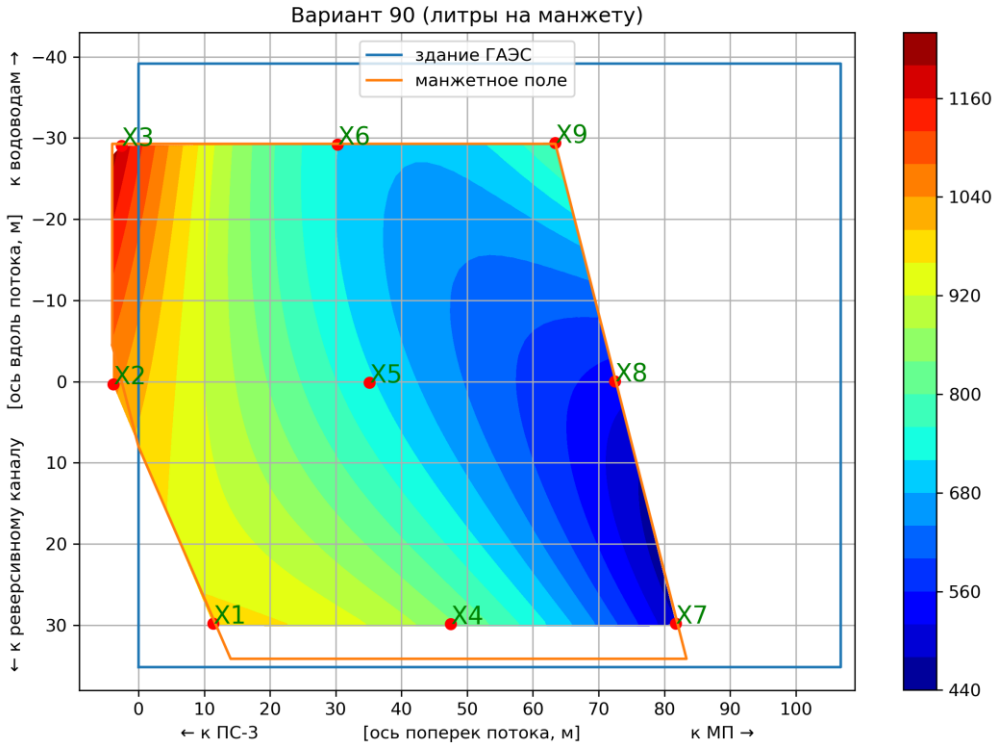


Рисунок Г.1.90.

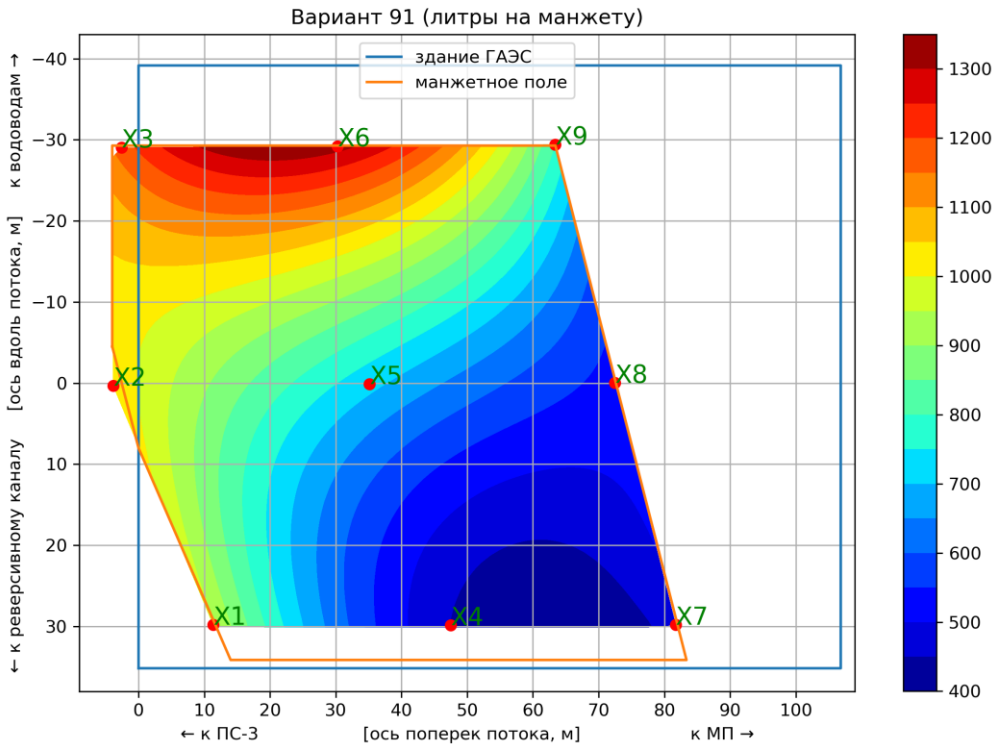


Рисунок Г.1.91.

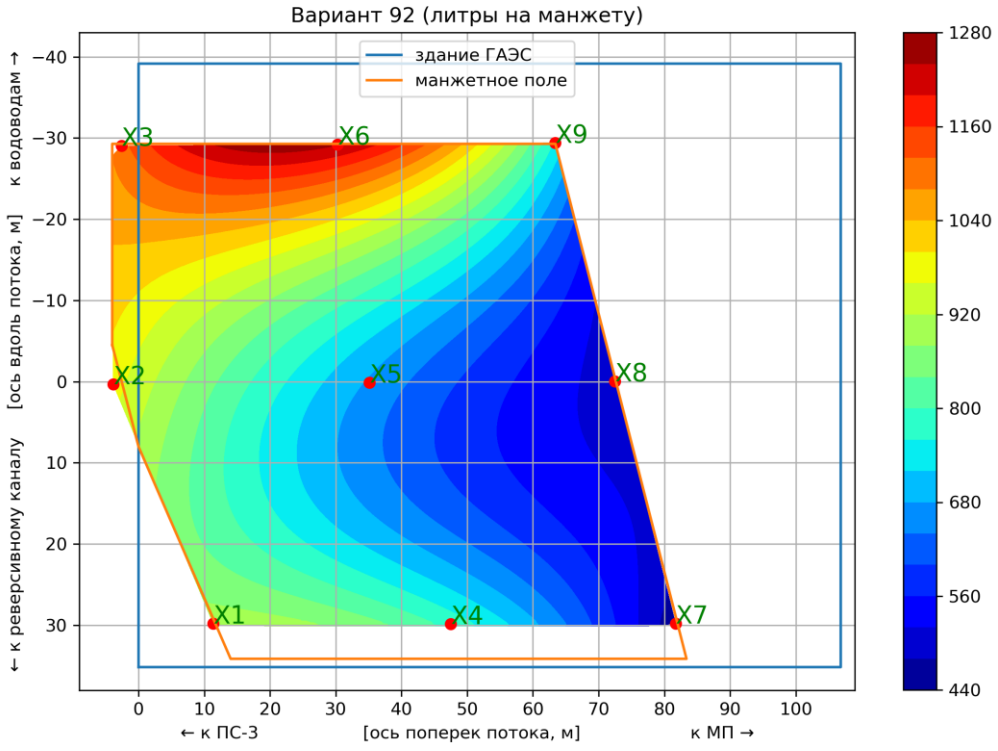


Рисунок Г.1.92.

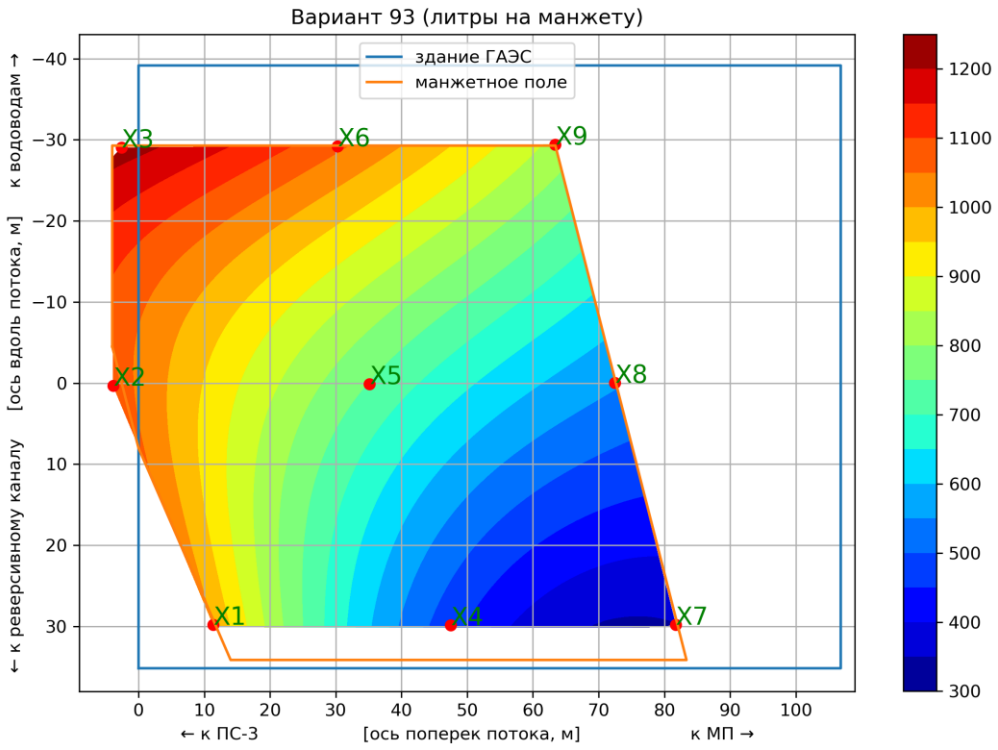


Рисунок Г.1.93.

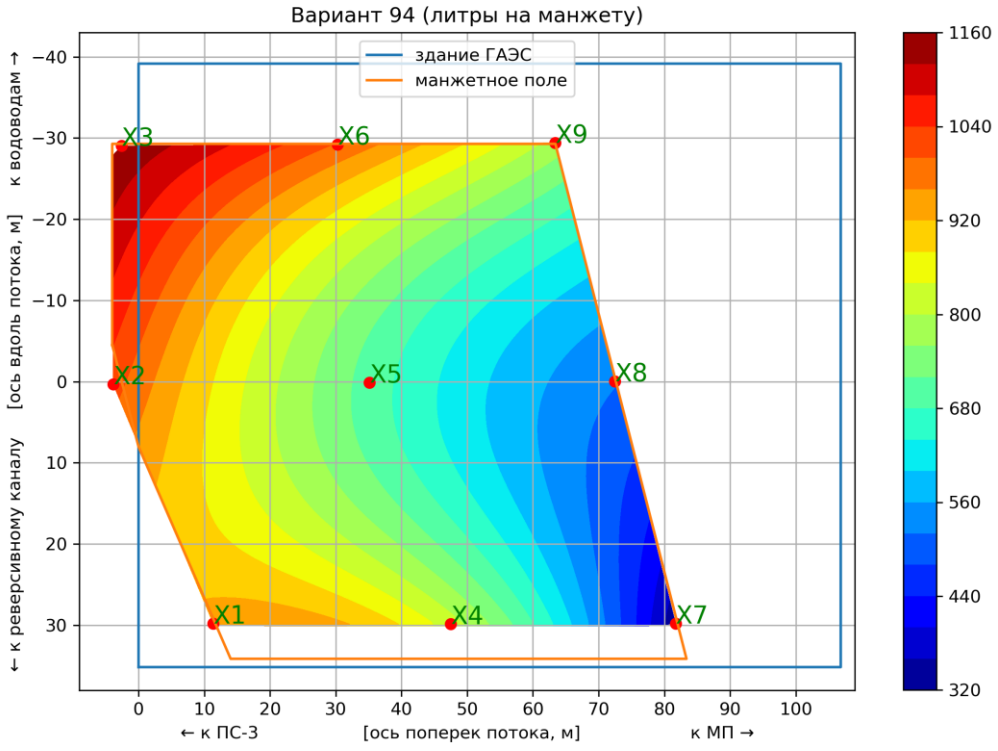


Рисунок Г.1.94.

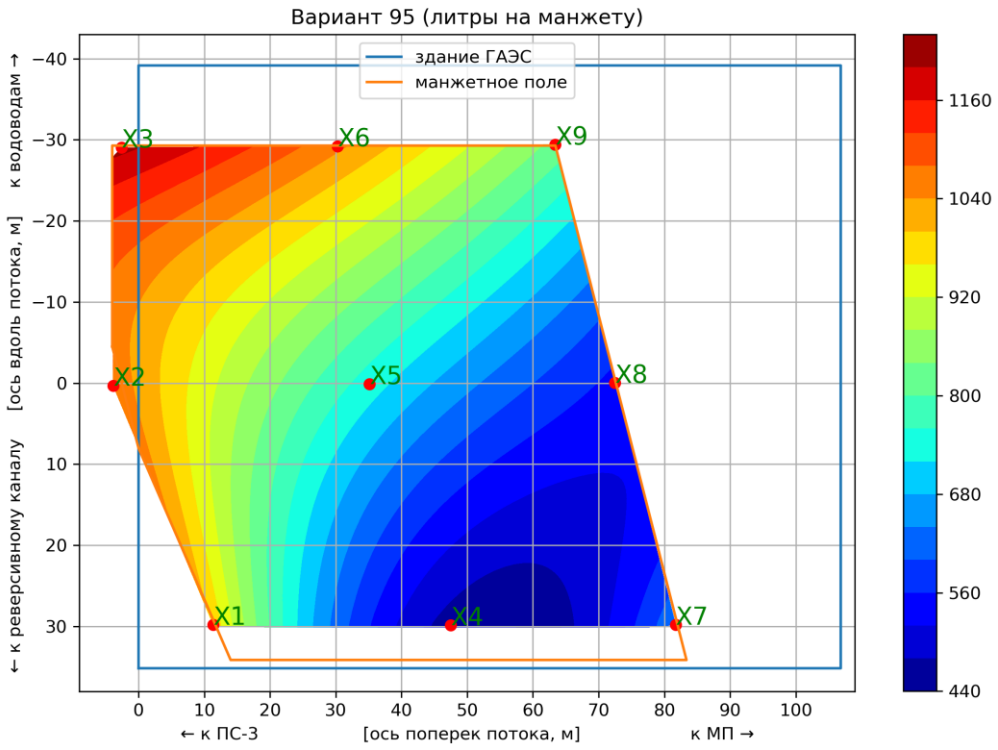


Рисунок Г.1.95.

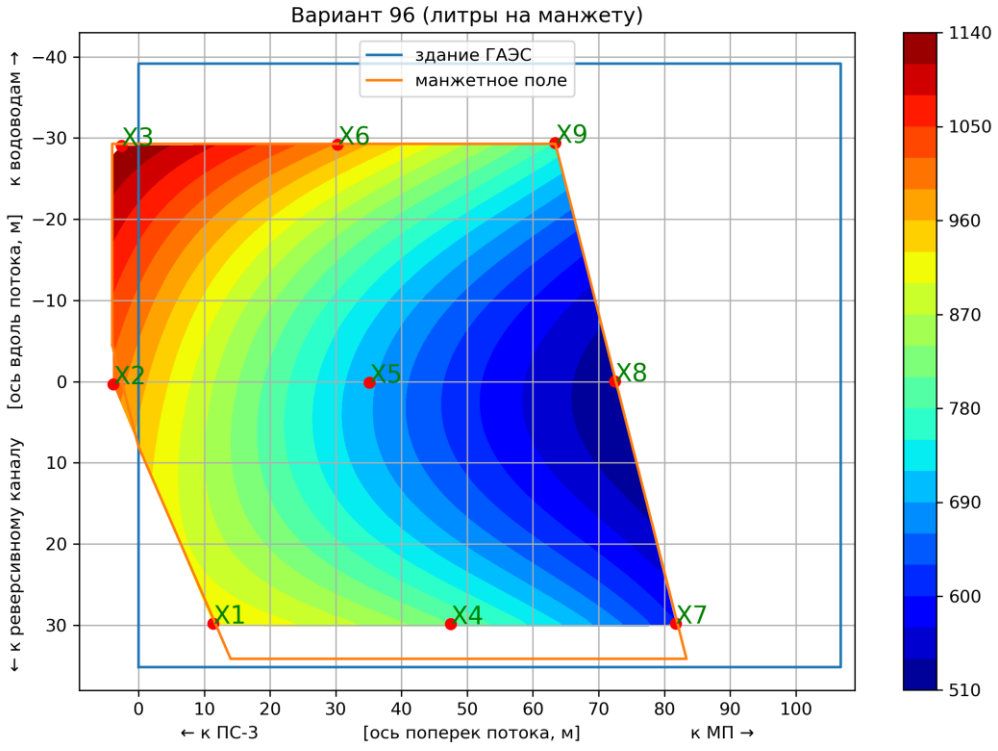


Рисунок Г.1.96.

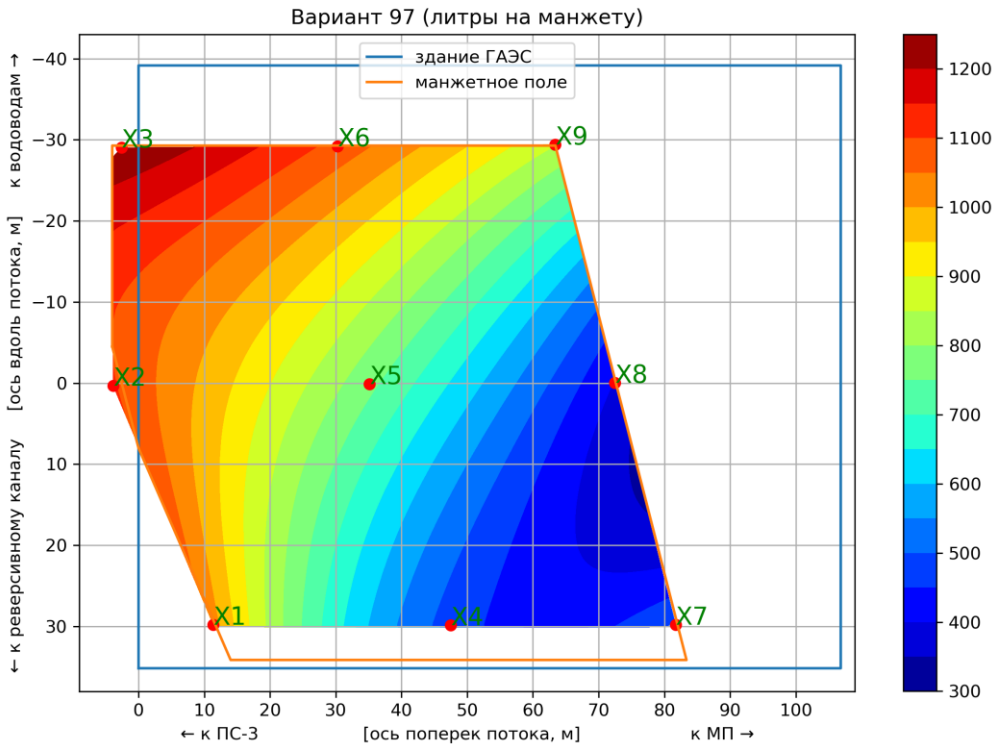


Рисунок Г.1.97.

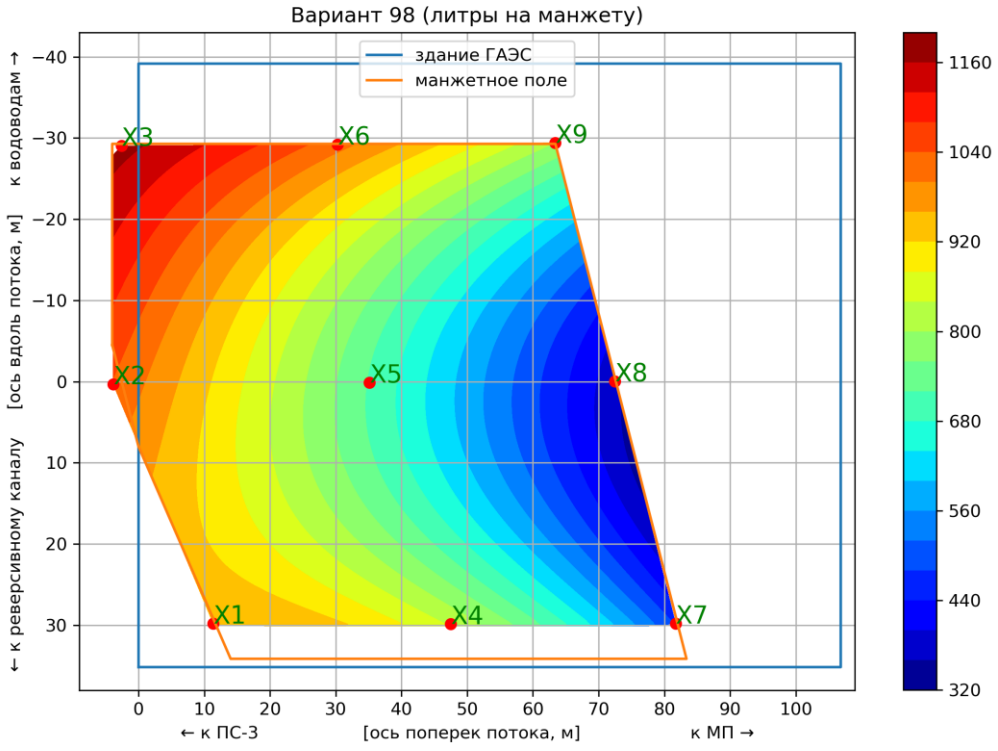


Рисунок Г.1.98.

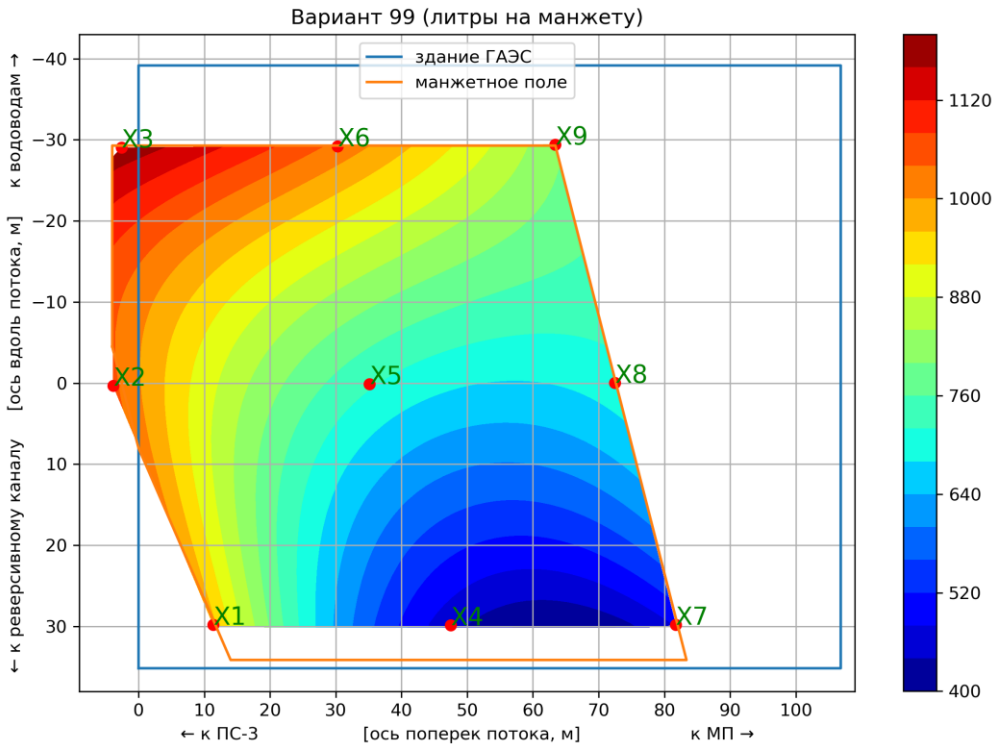


Рисунок Г.1.99.

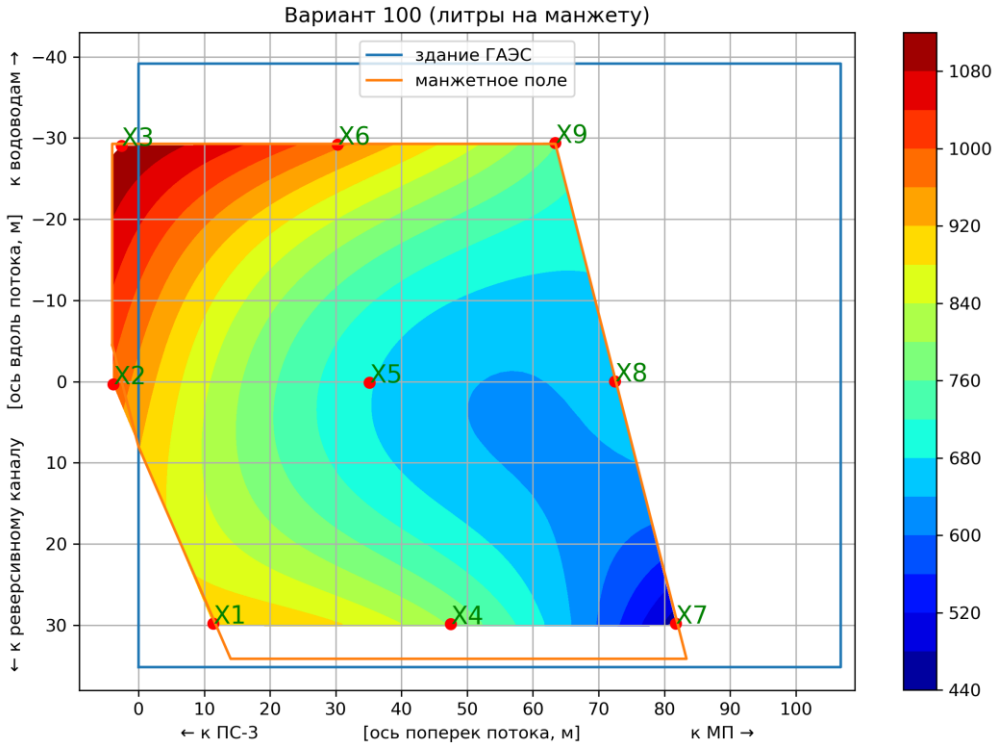


Рисунок Г.1.100.

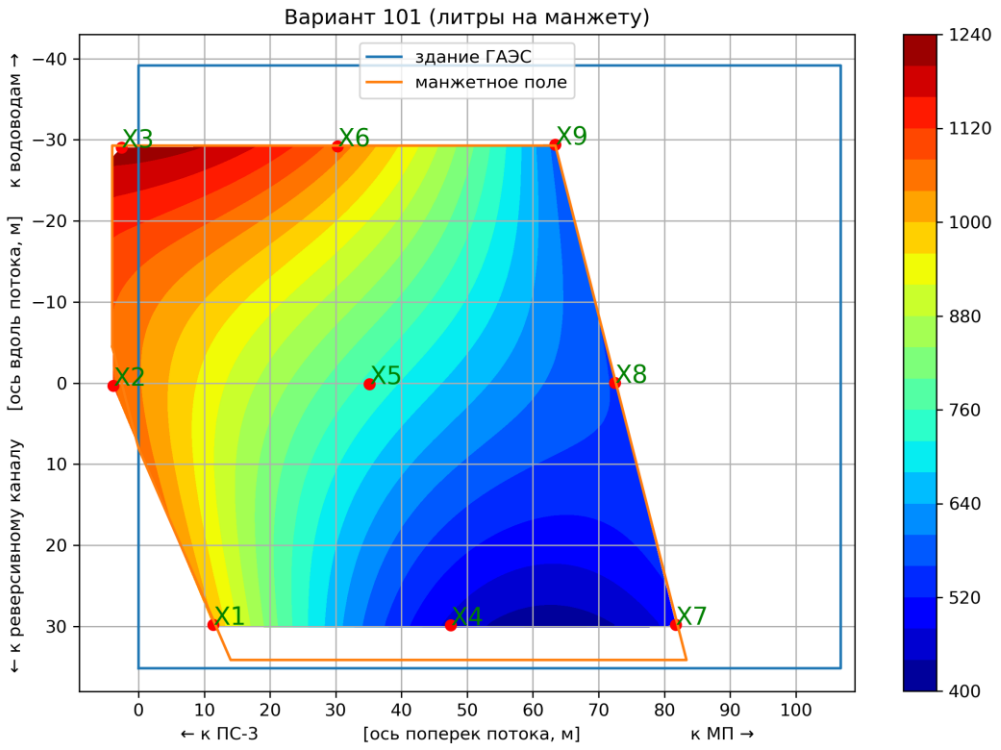


Рисунок Г.1.101.

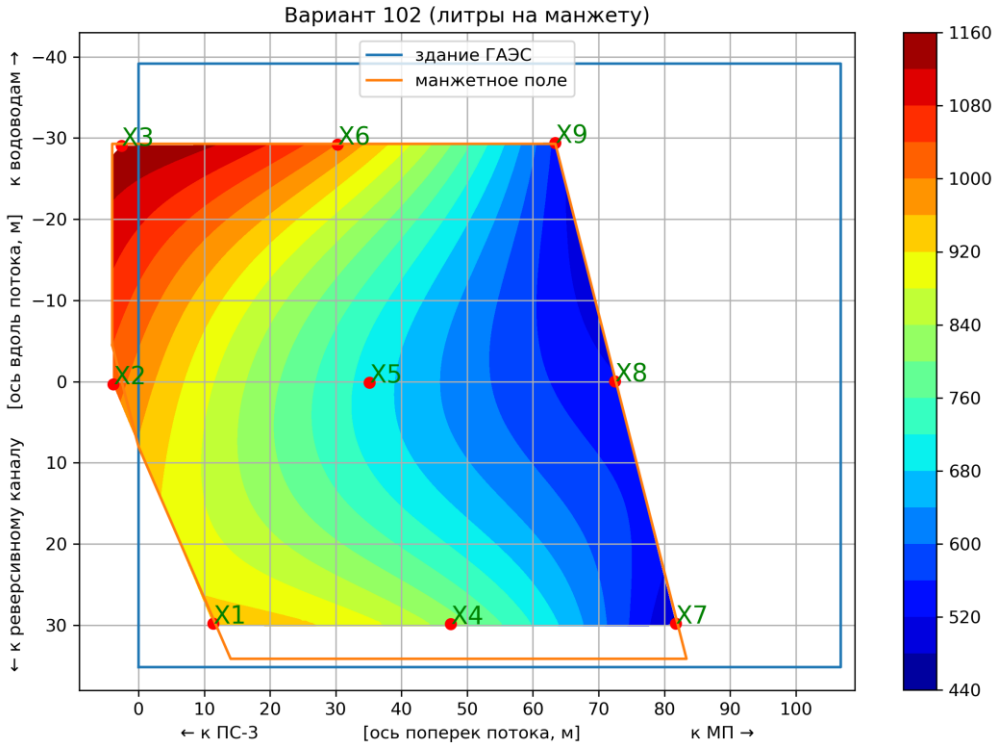


Рисунок Г.1.102.

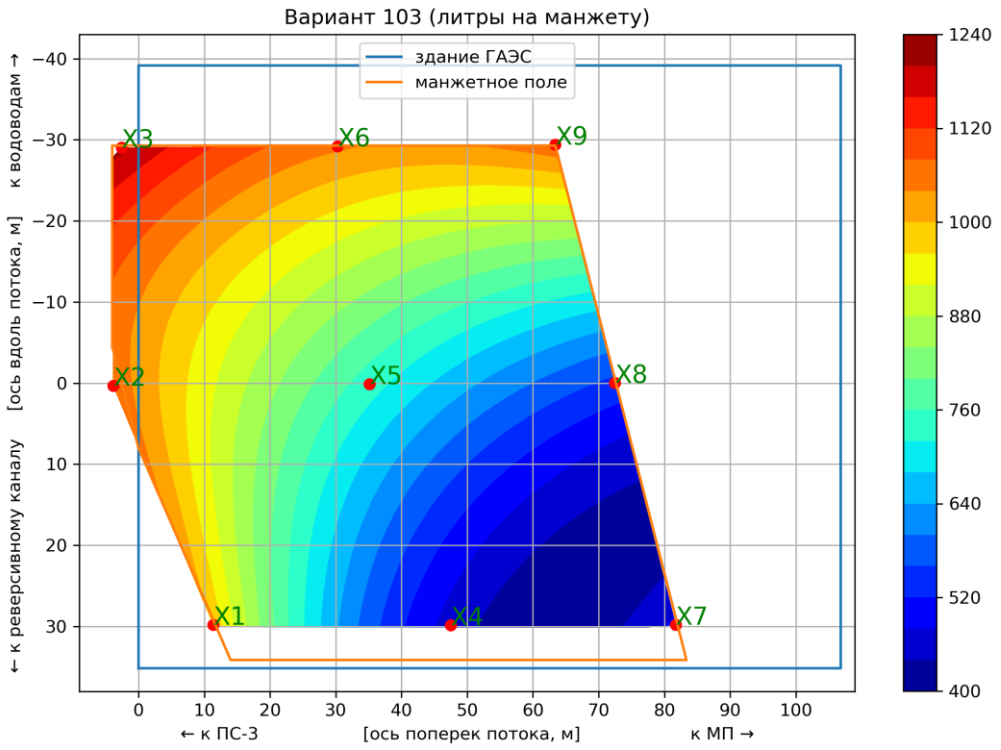


Рисунок Г.1.103.

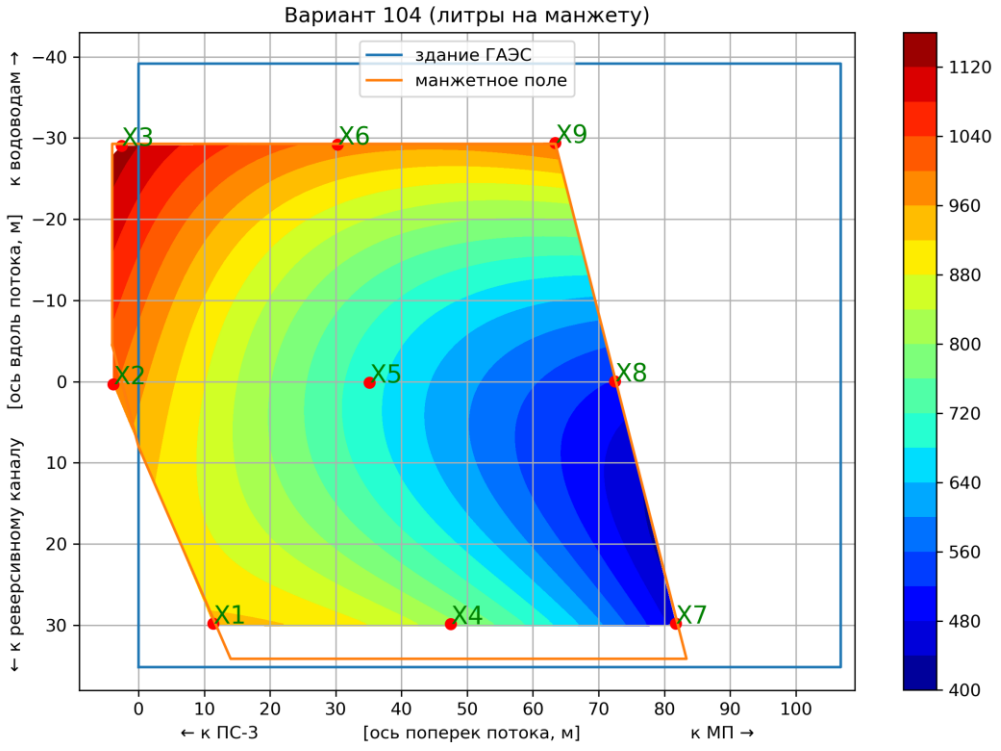


Рисунок Г.1.104.

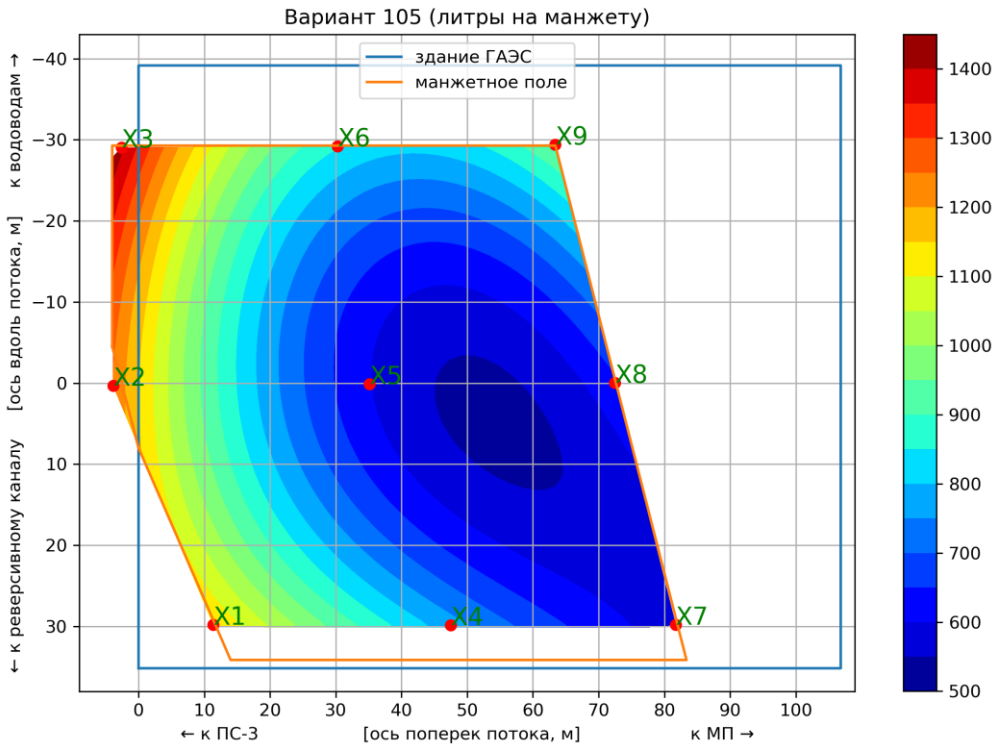


Рисунок Г.1.105.

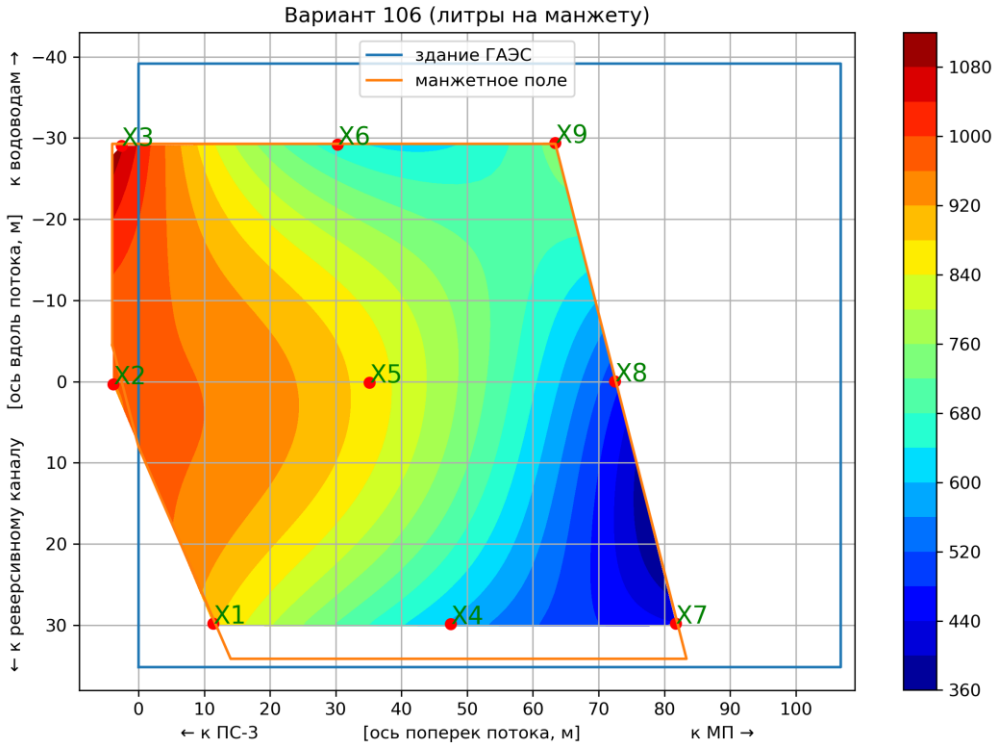


Рисунок Г.1.106.

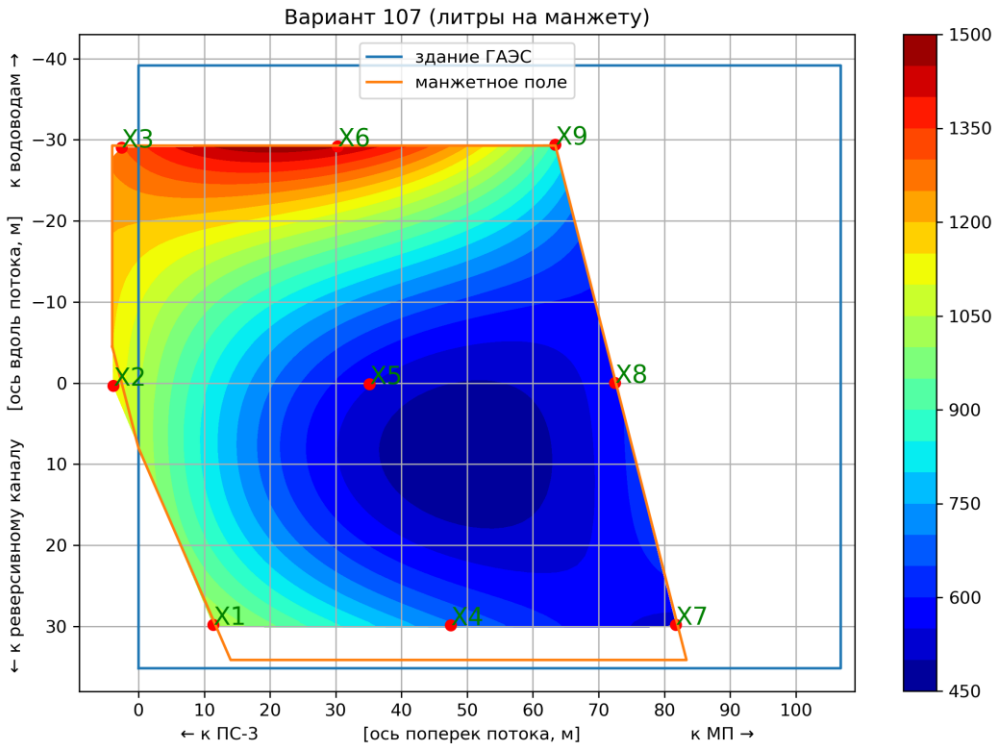


Рисунок Г.1.107.

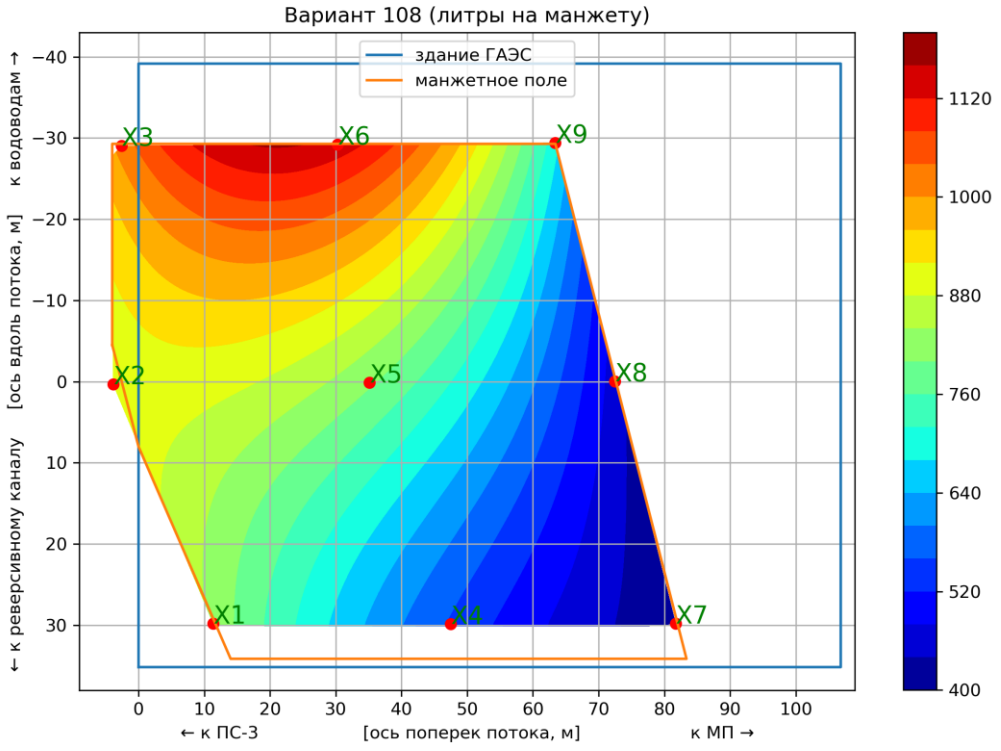


Рисунок Г.1.108.

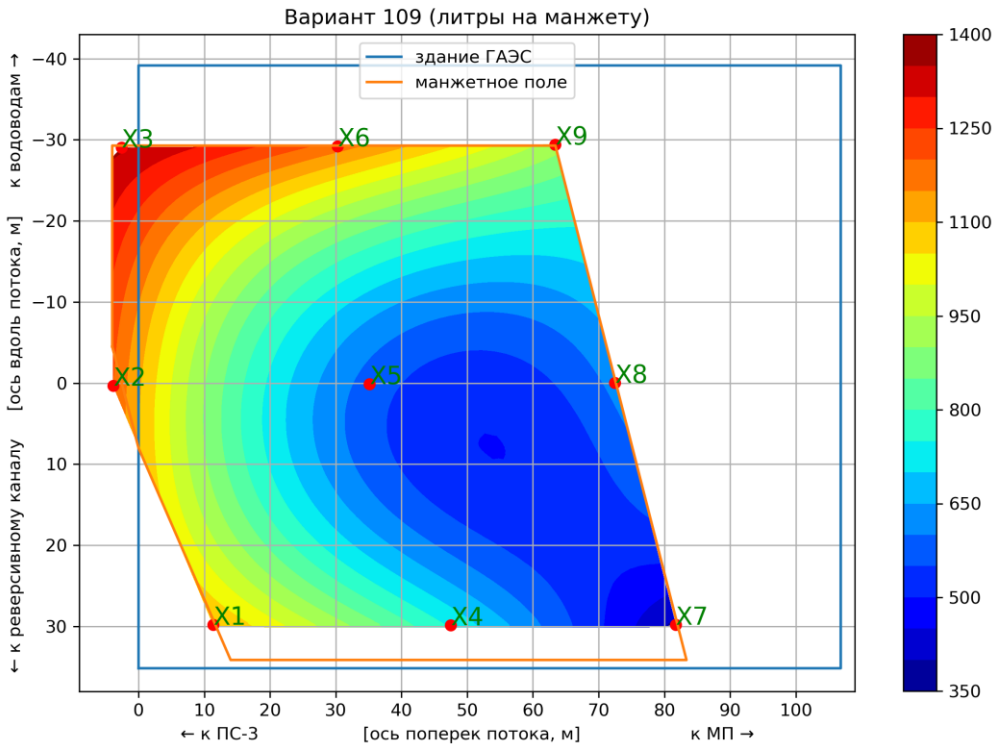


Рисунок Г.1.109.

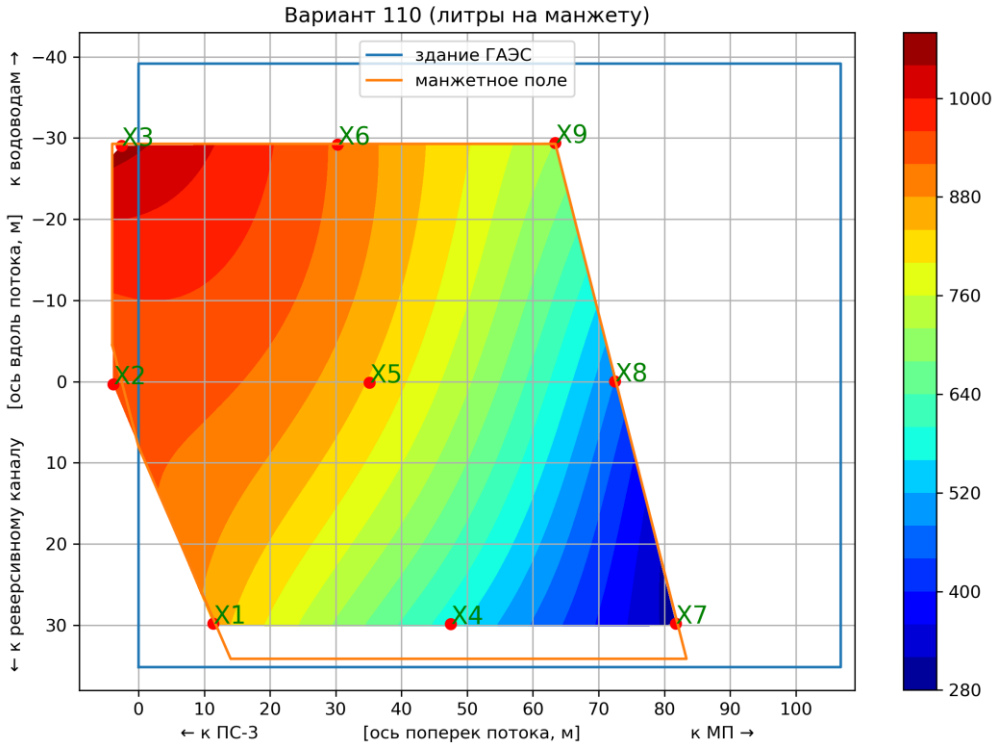


Рисунок Г.1.110.

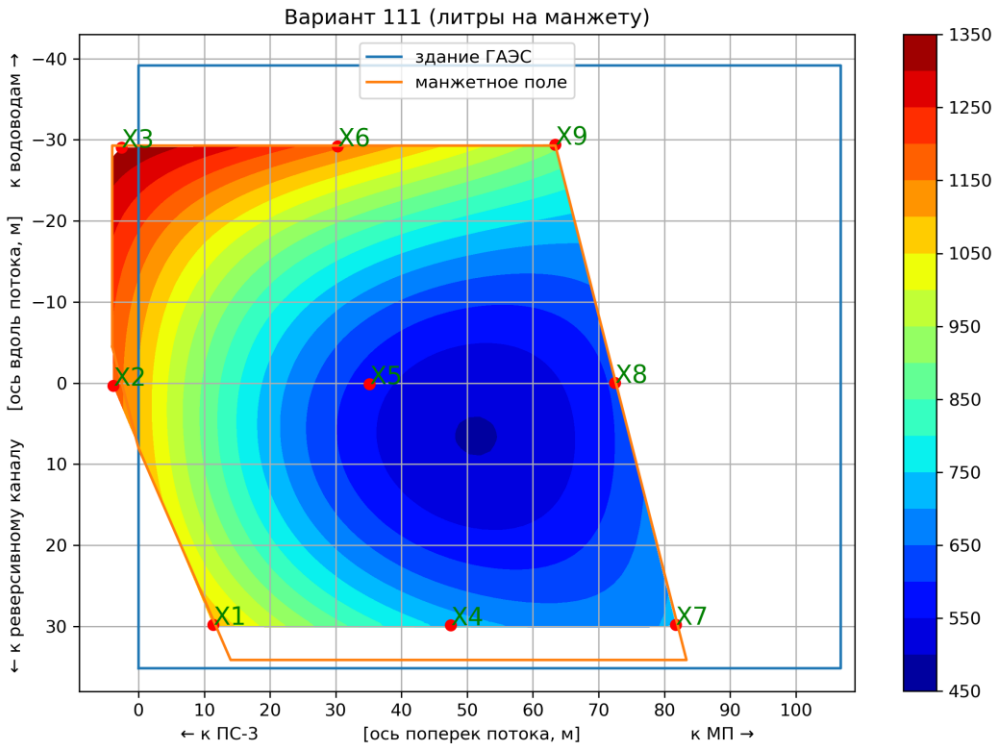


Рисунок Г.1.111.

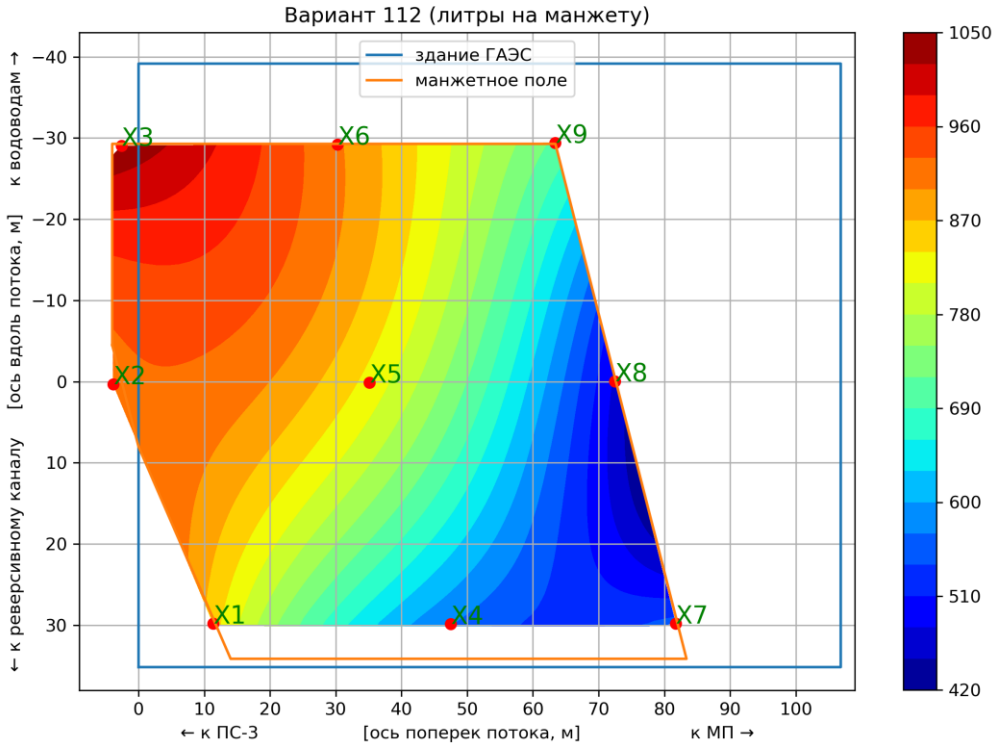


Рисунок Г.1.112.

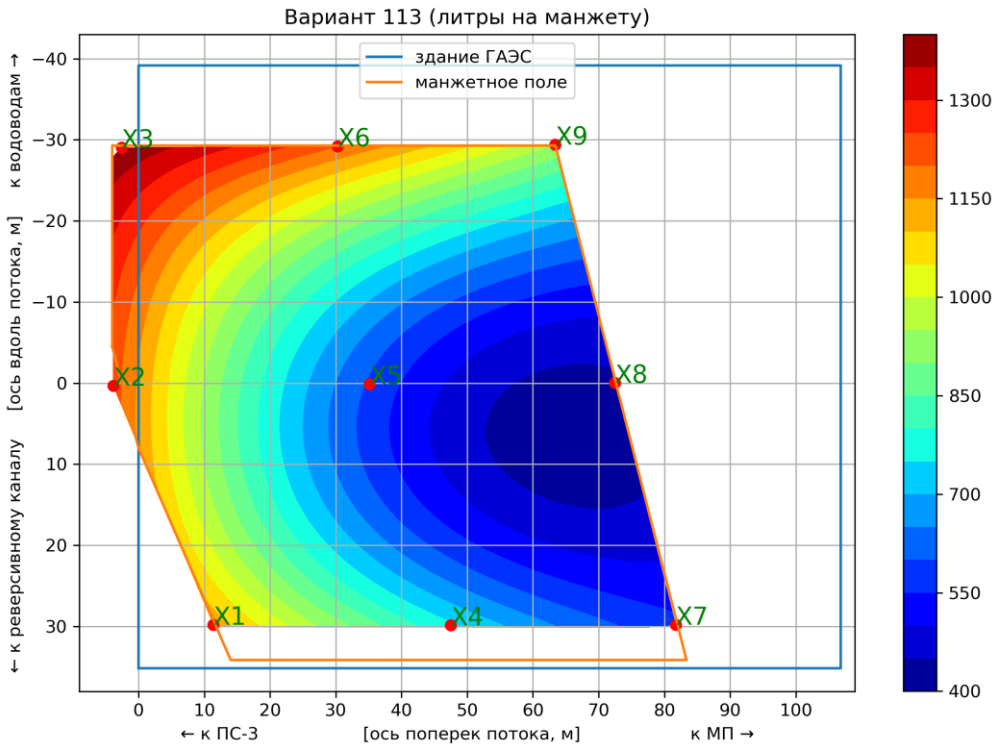


Рисунок Г.1.113.

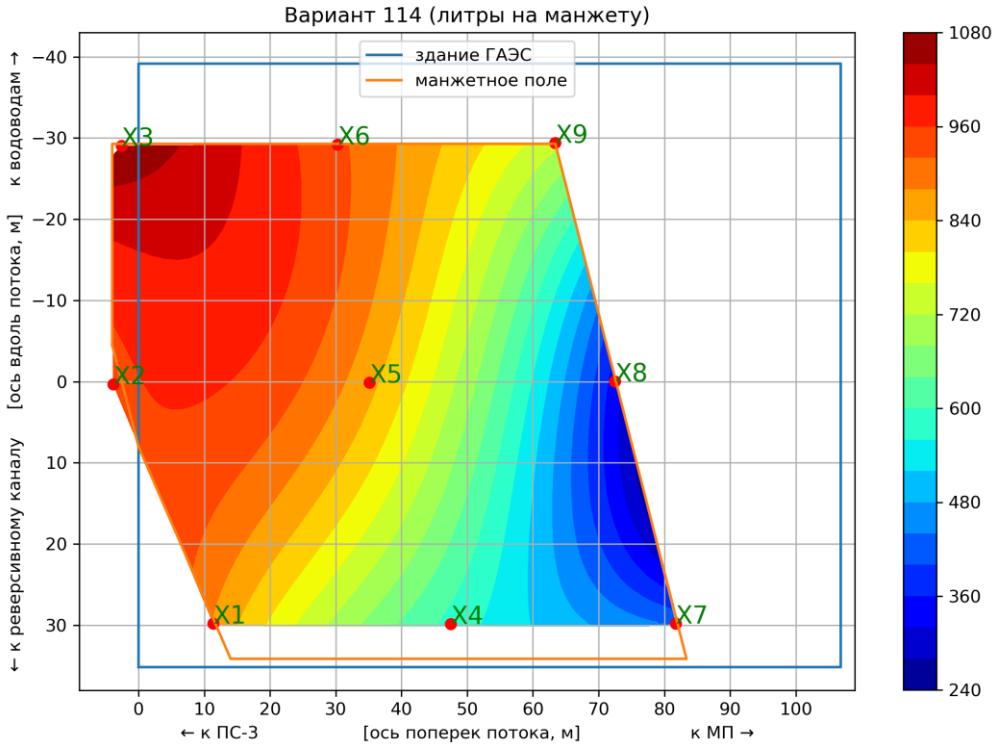


Рисунок Г.1.114.

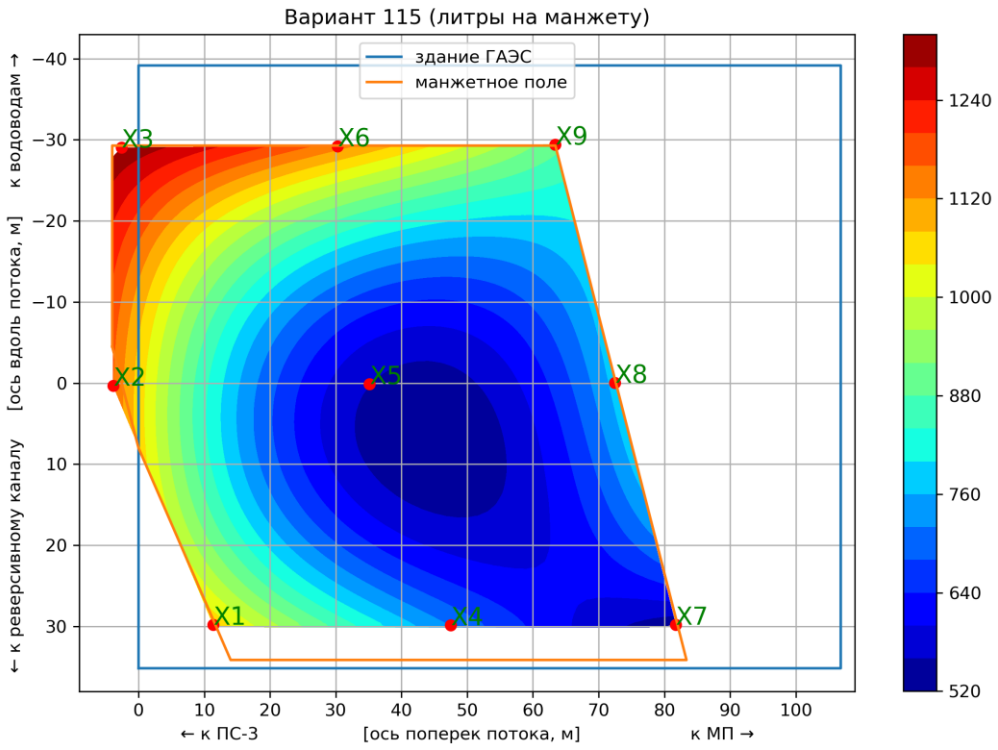


Рисунок Г.1.115.

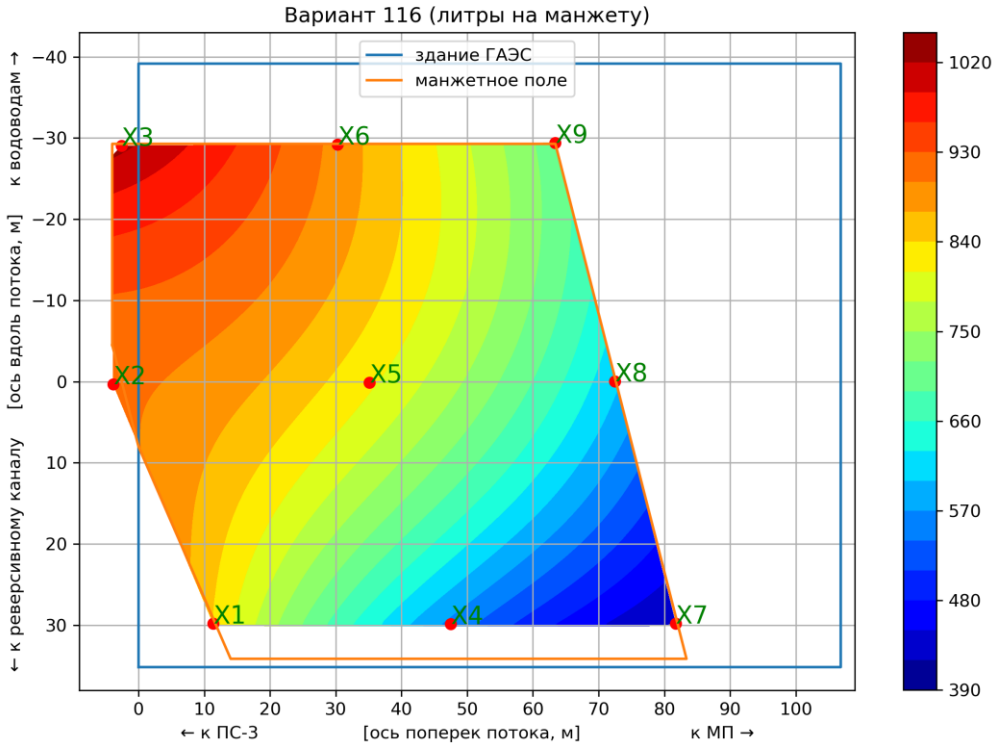


Рисунок Г.1.116.

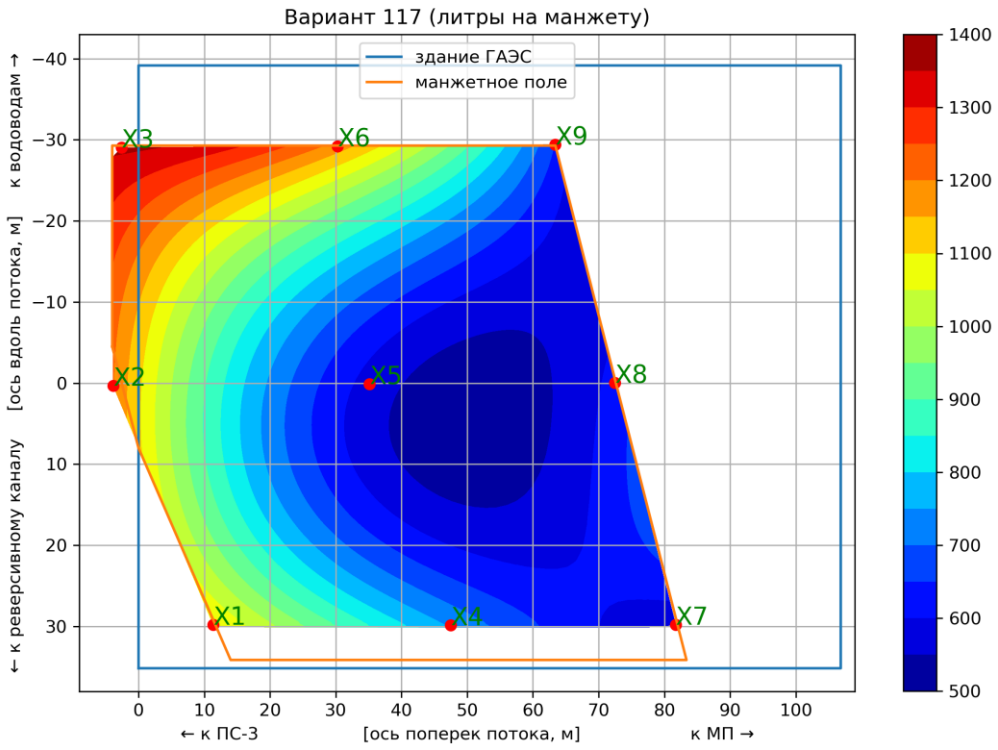


Рисунок Г.1.117.

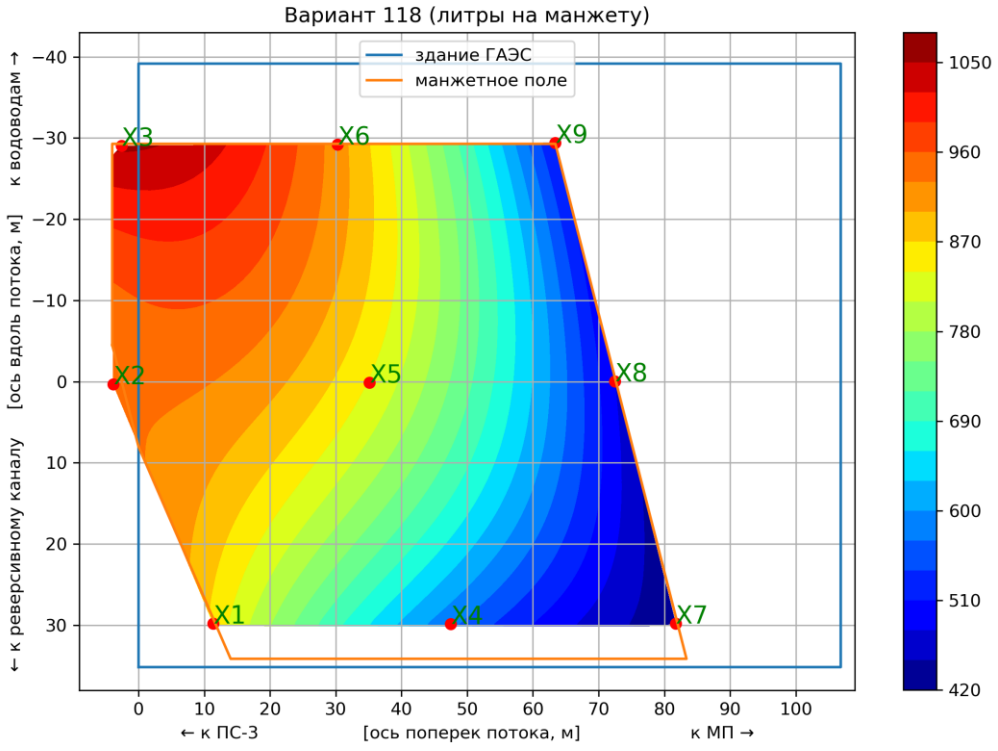


Рисунок Г.1.118.

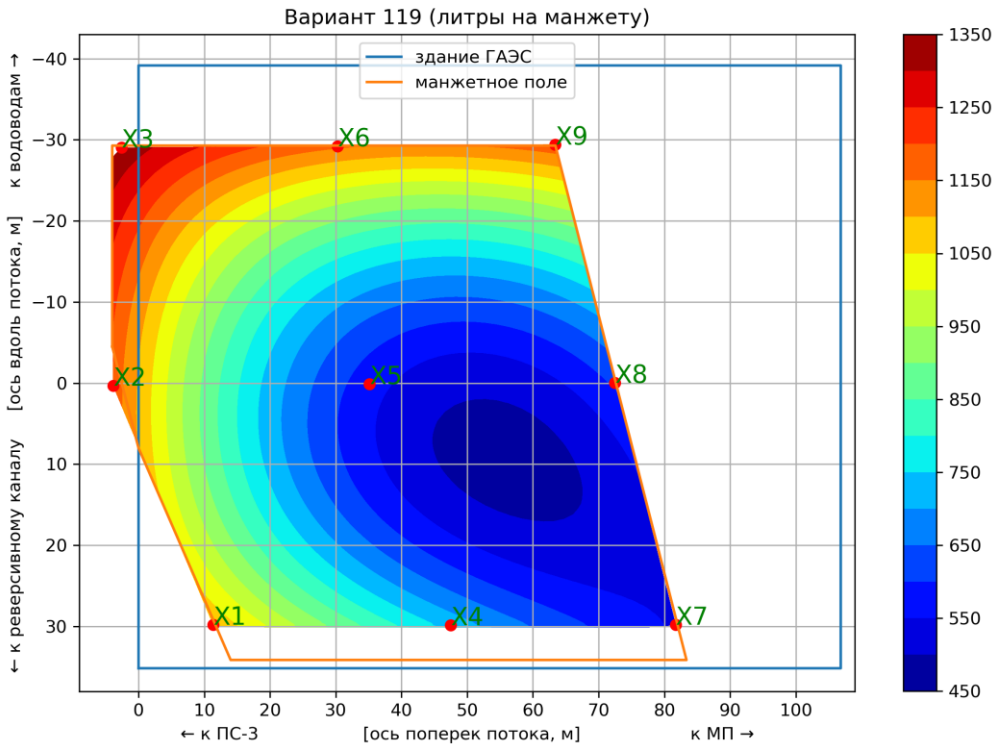


Рисунок Г.1.119.

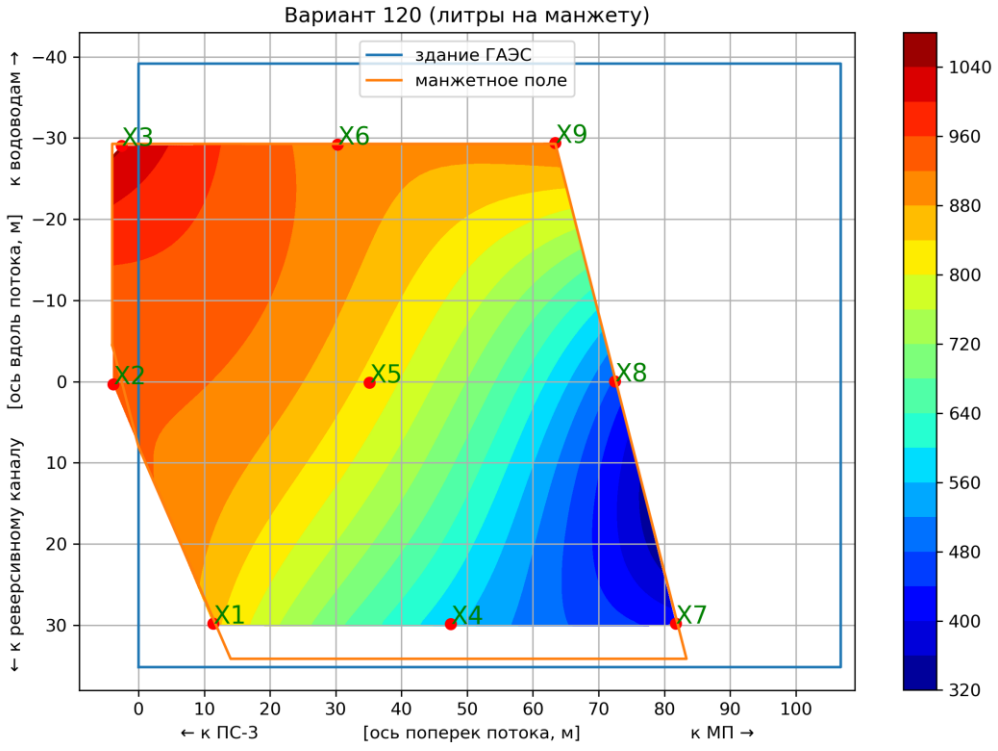


Рисунок Г.1.120.

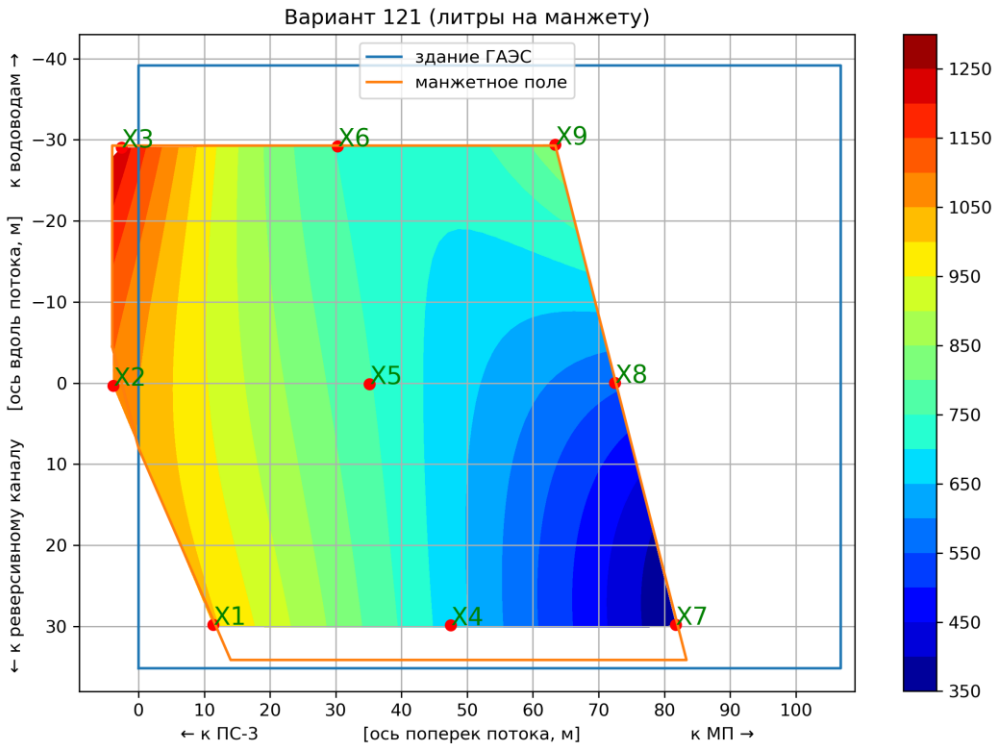


Рисунок Г.1.121.

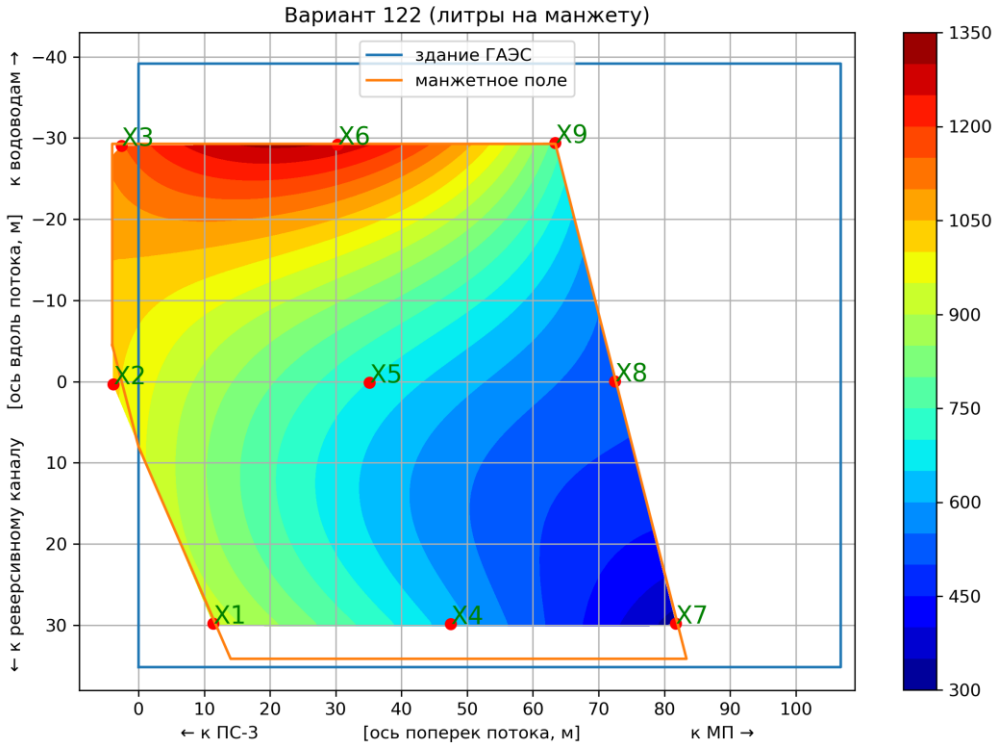


Рисунок Г.1.122.

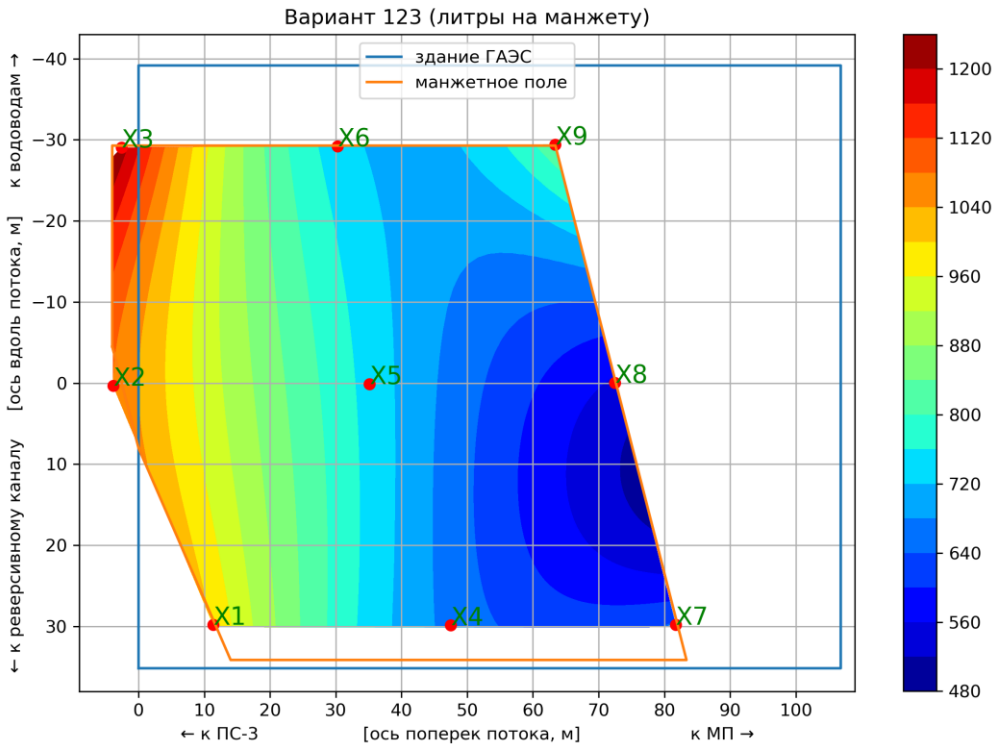


Рисунок Г.1.123.

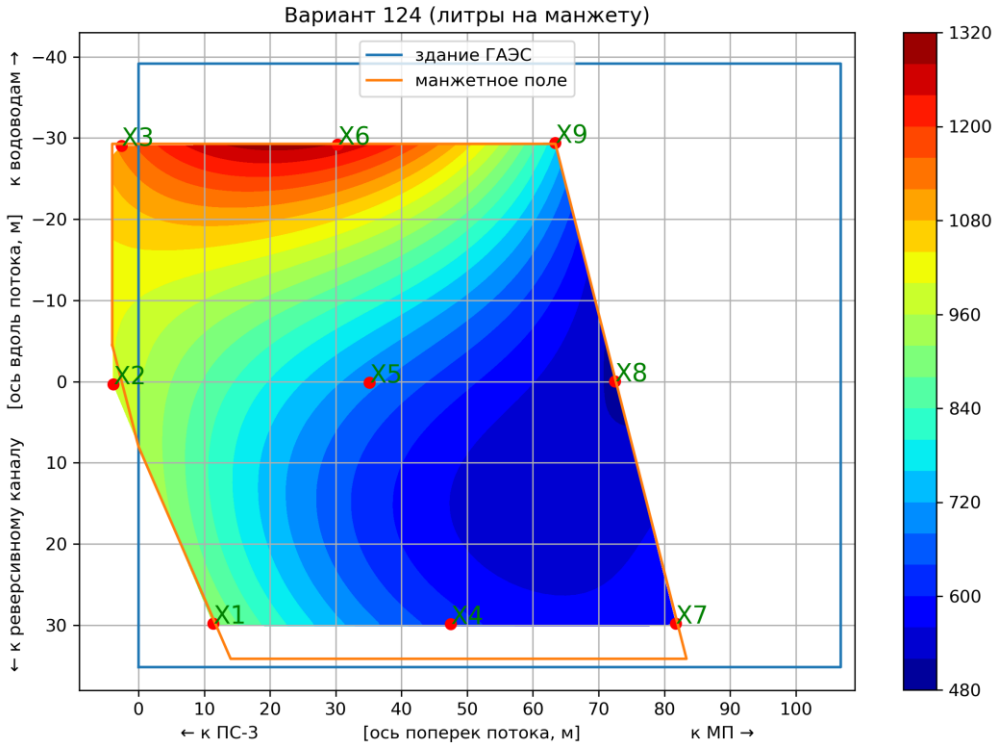


Рисунок Г.1.124.

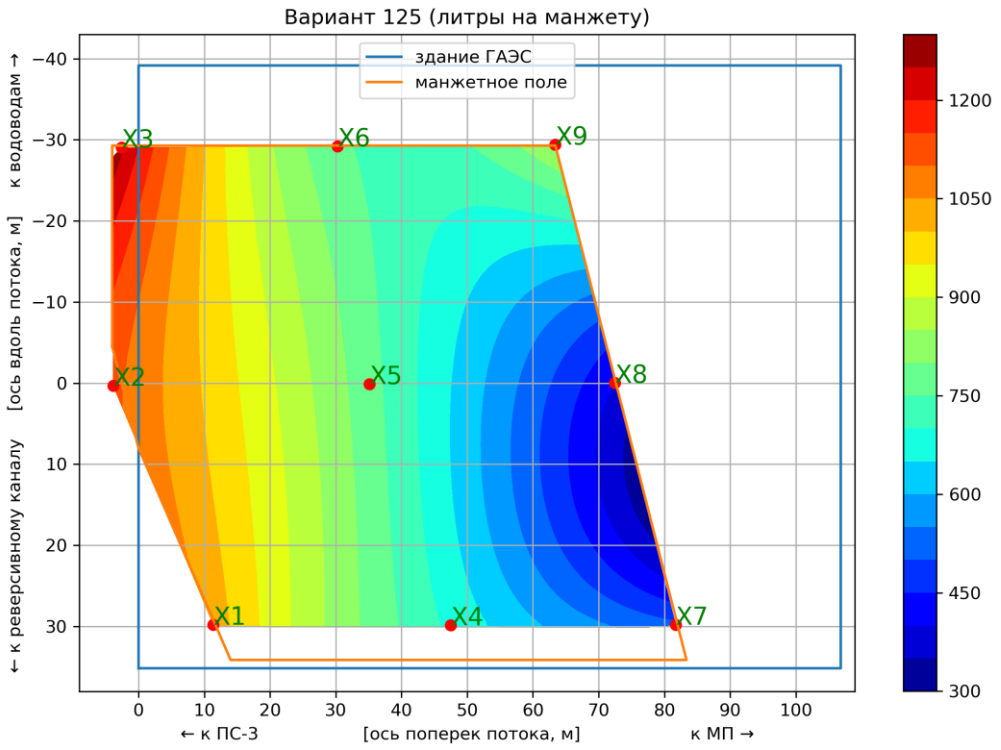


Рисунок Г.1.125.

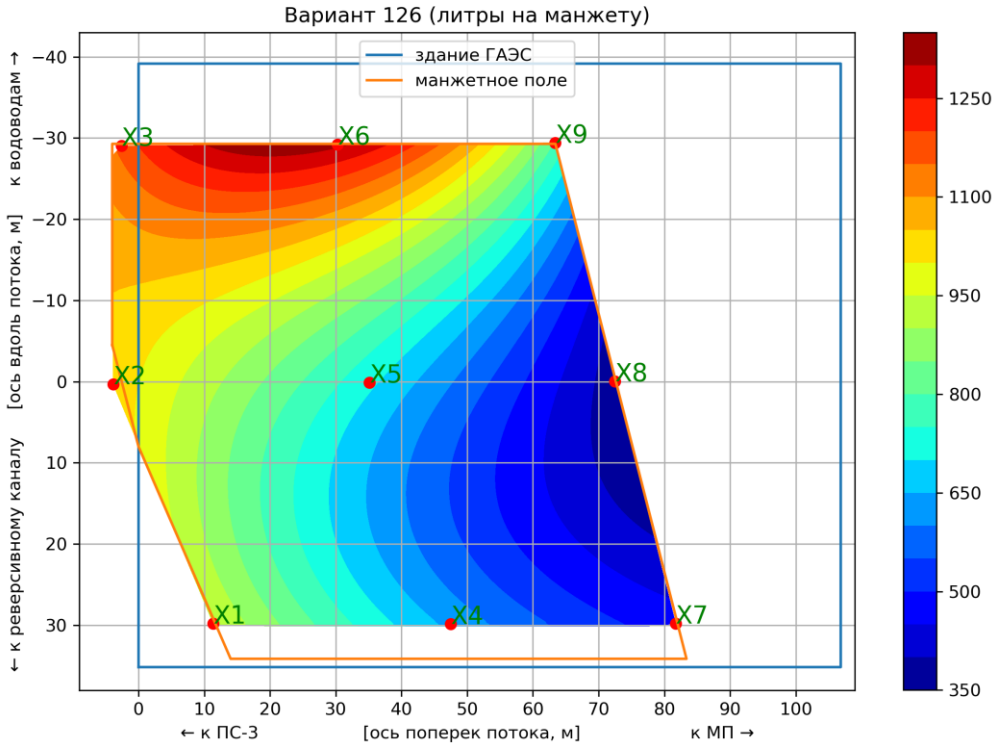


Рисунок Г.1.126.

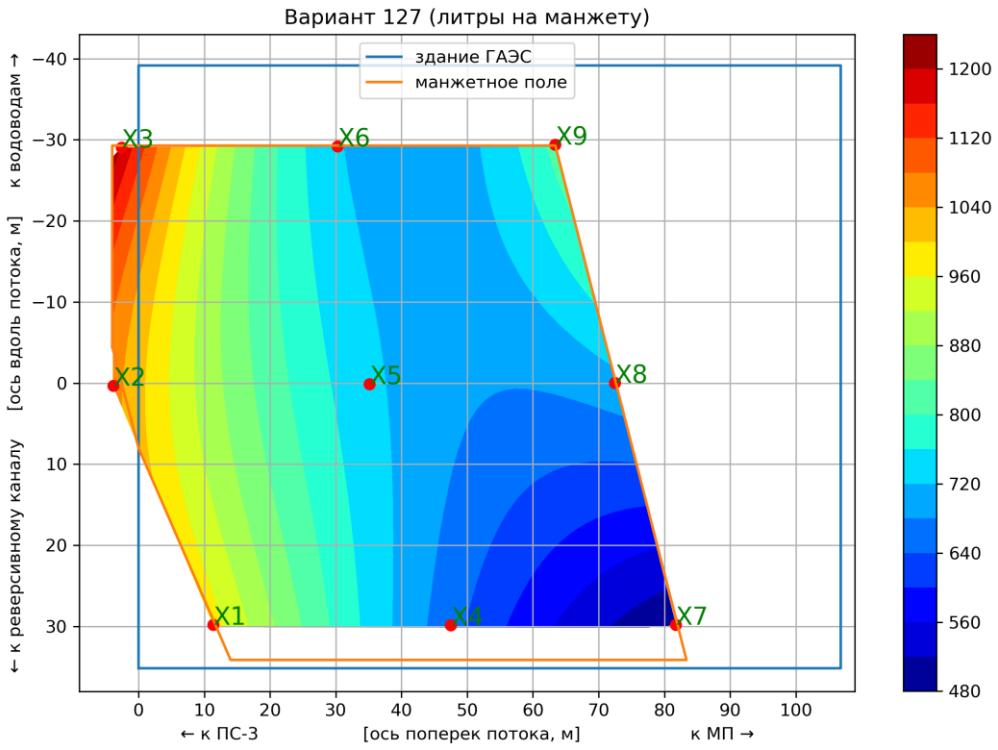


Рисунок Г.1.127.

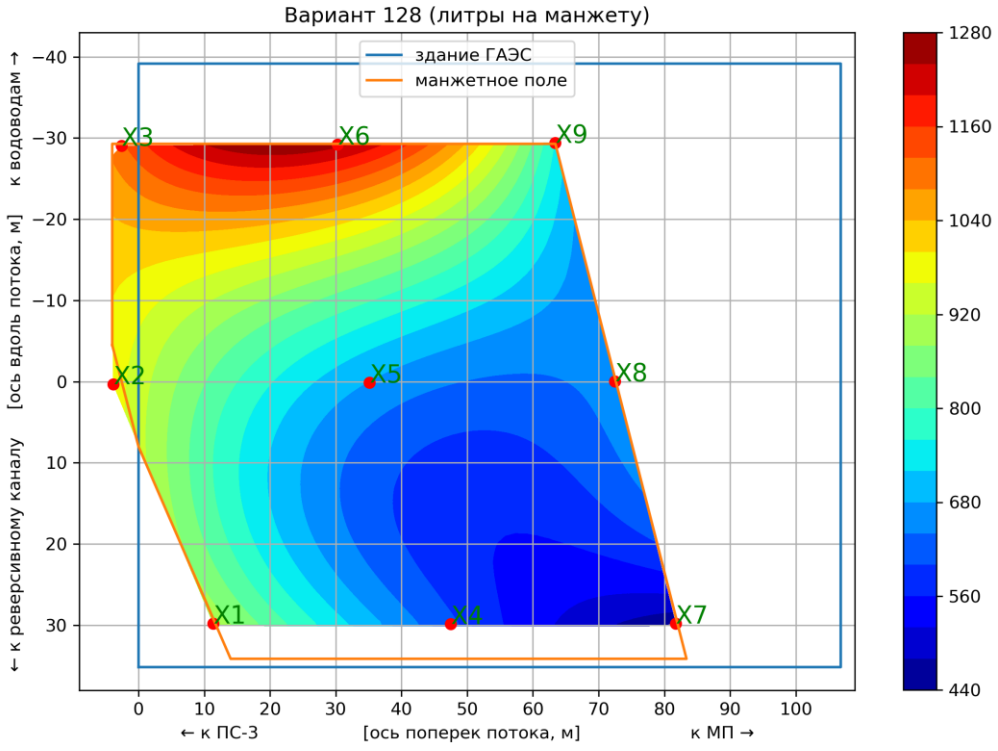


Рисунок Г.1.128.

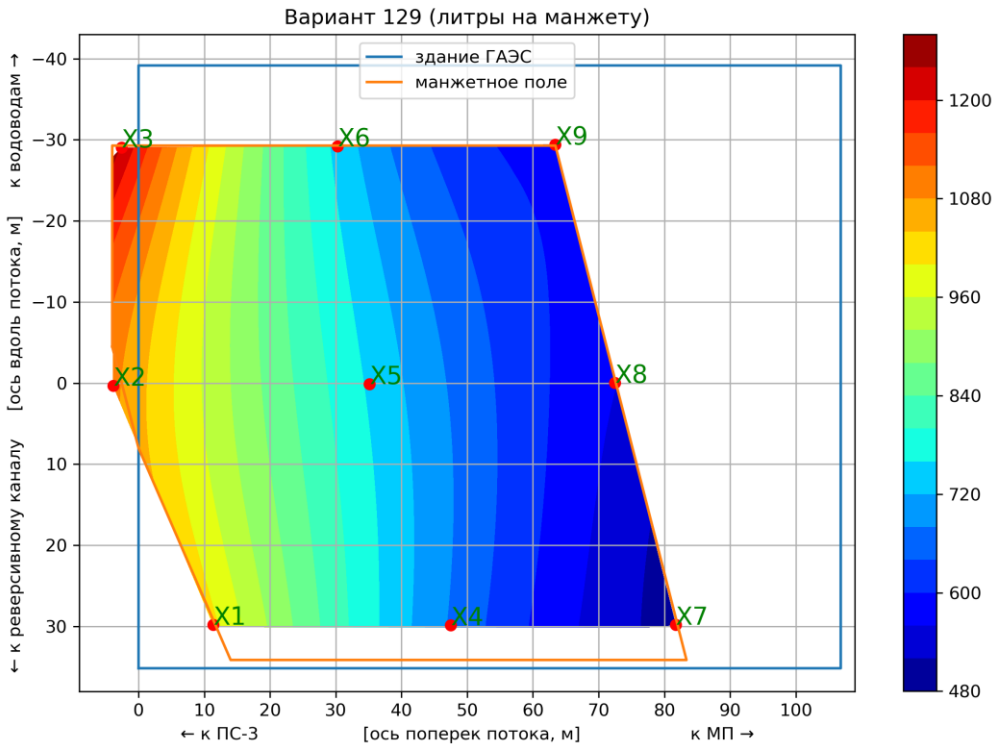


Рисунок Г.1.129.

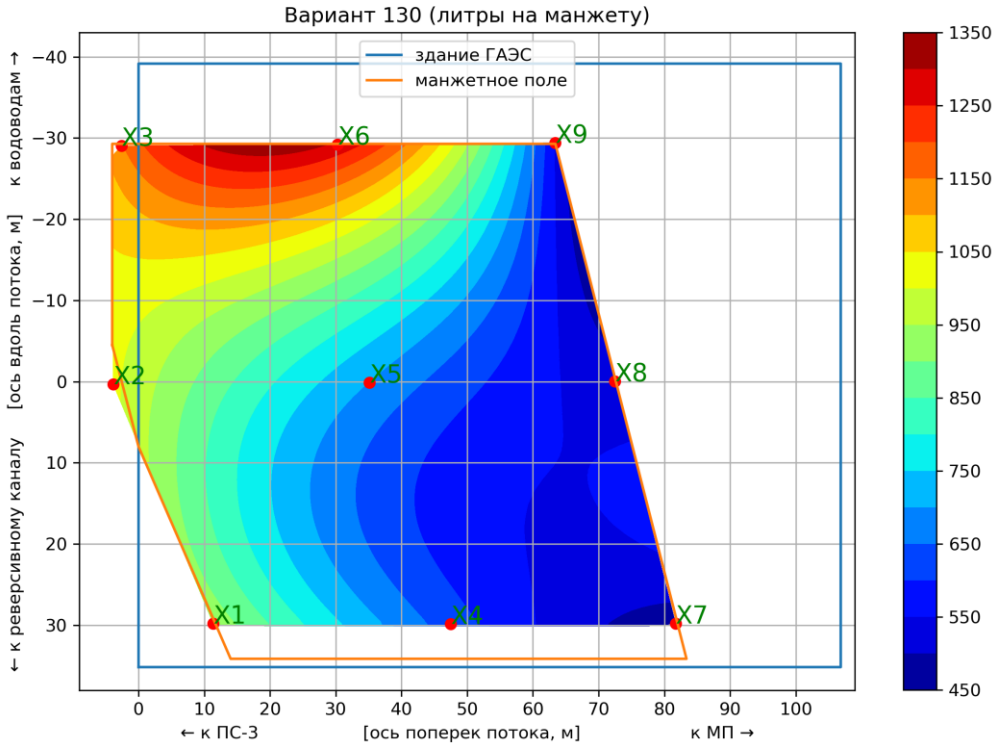


Рисунок Г.1.130.

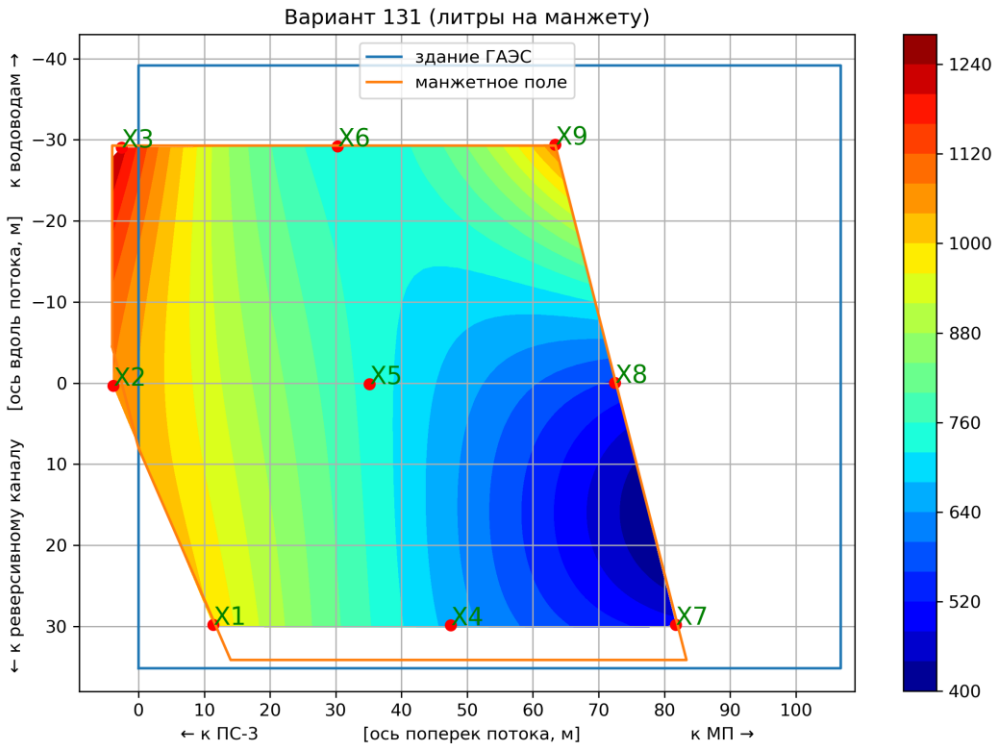


Рисунок Г.1.131.

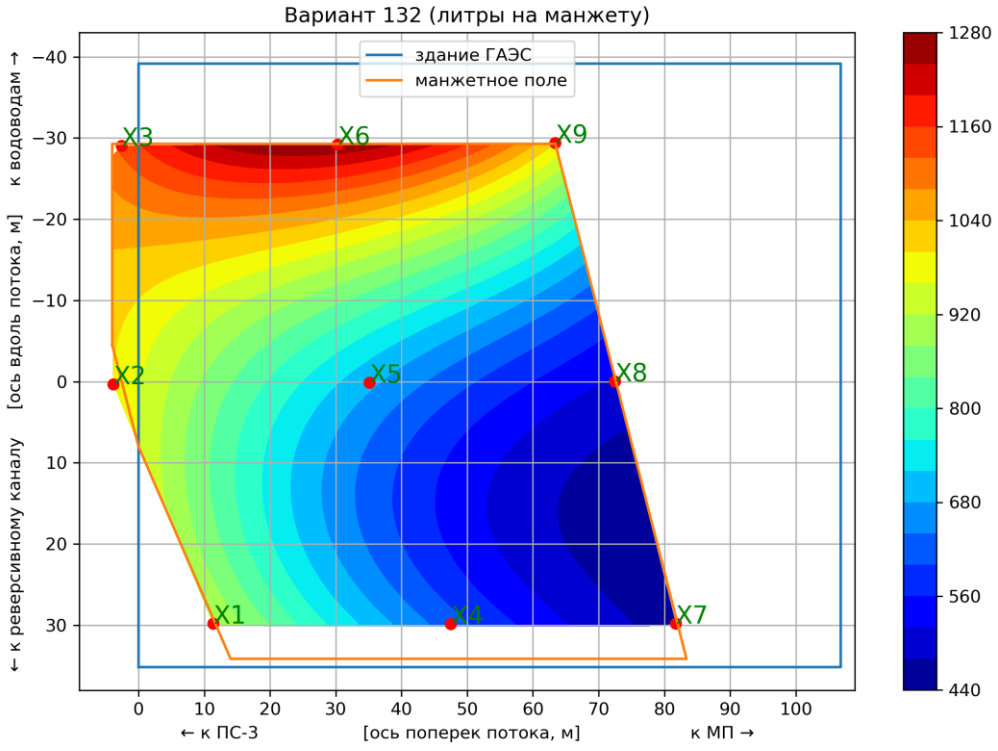


Рисунок Г.1.132.

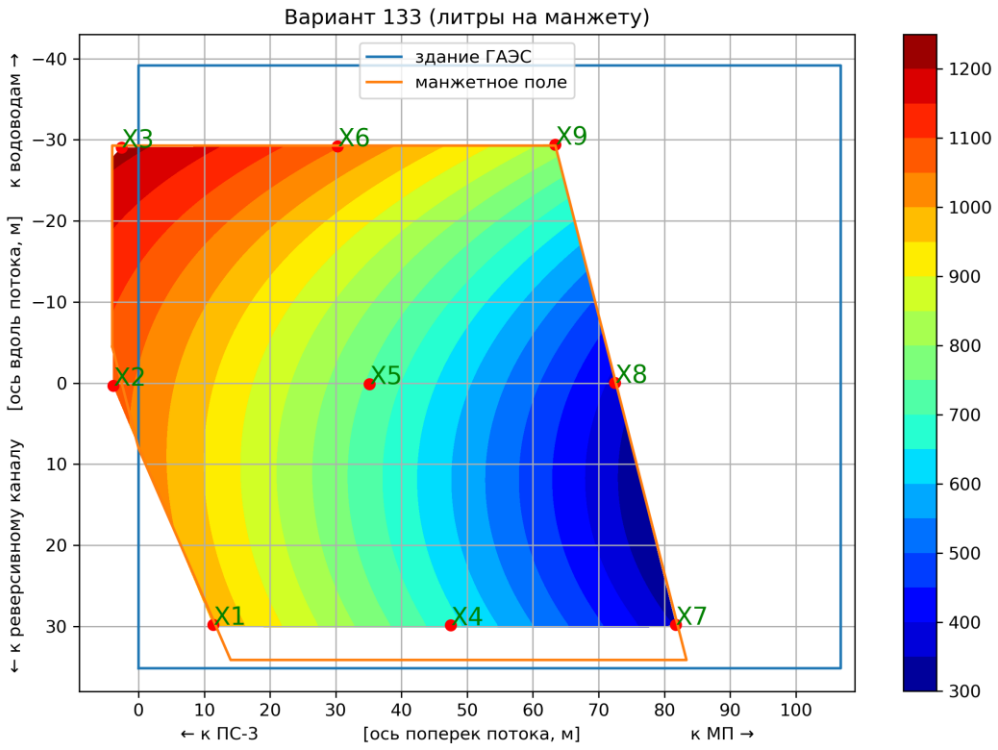


Рисунок Г.1.133.

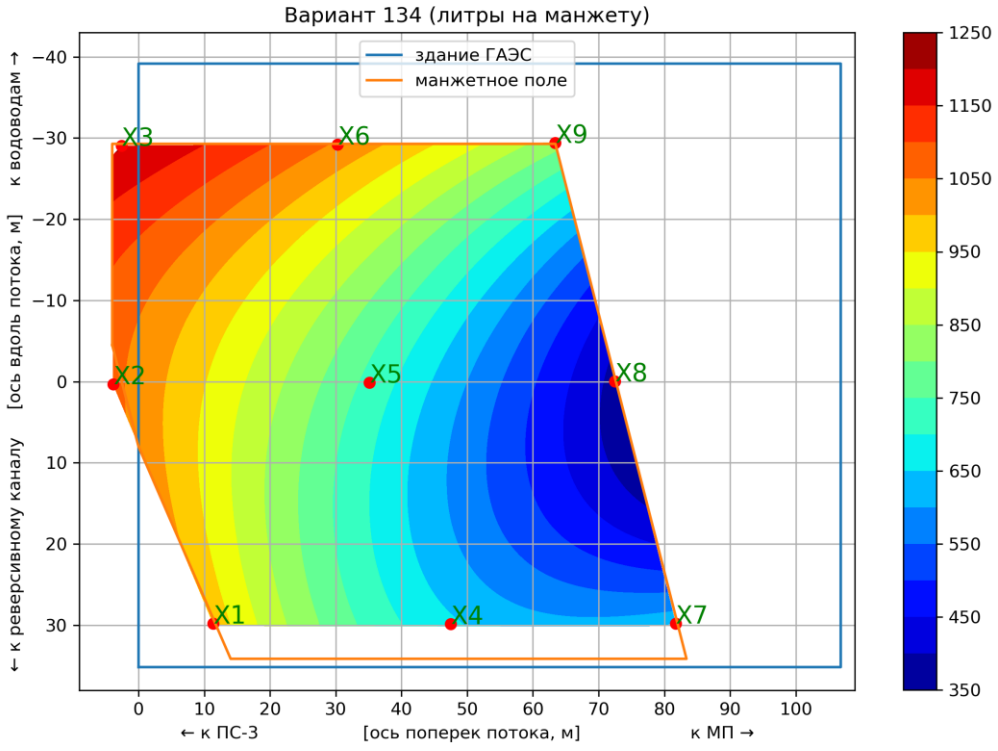


Рисунок Г.1.134.

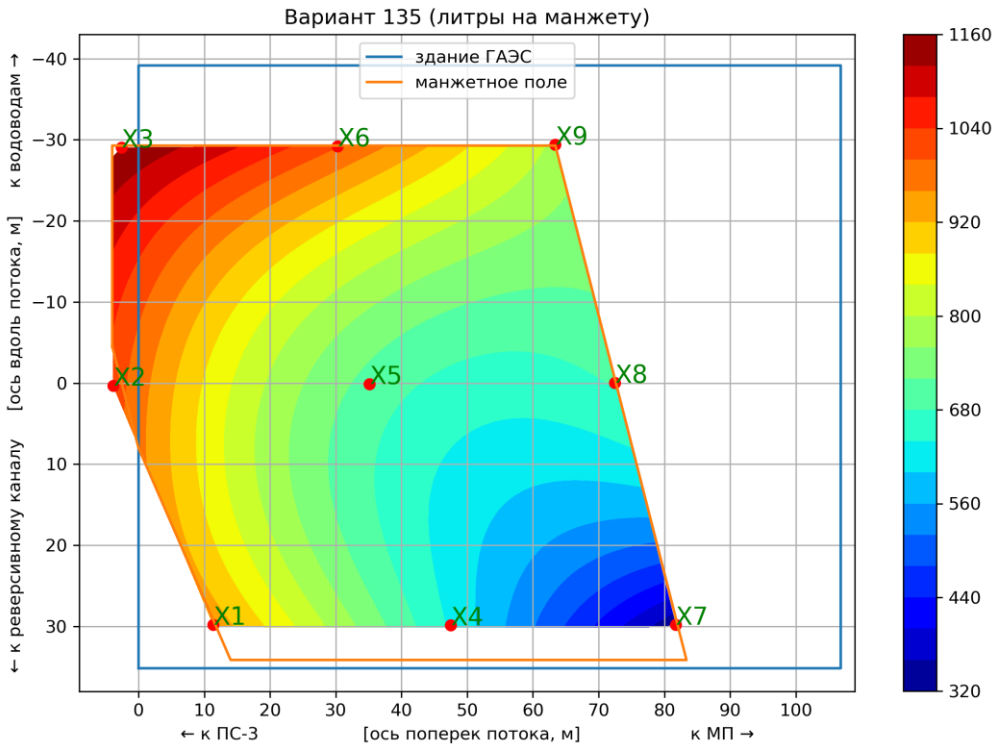


Рисунок Г.1.135.

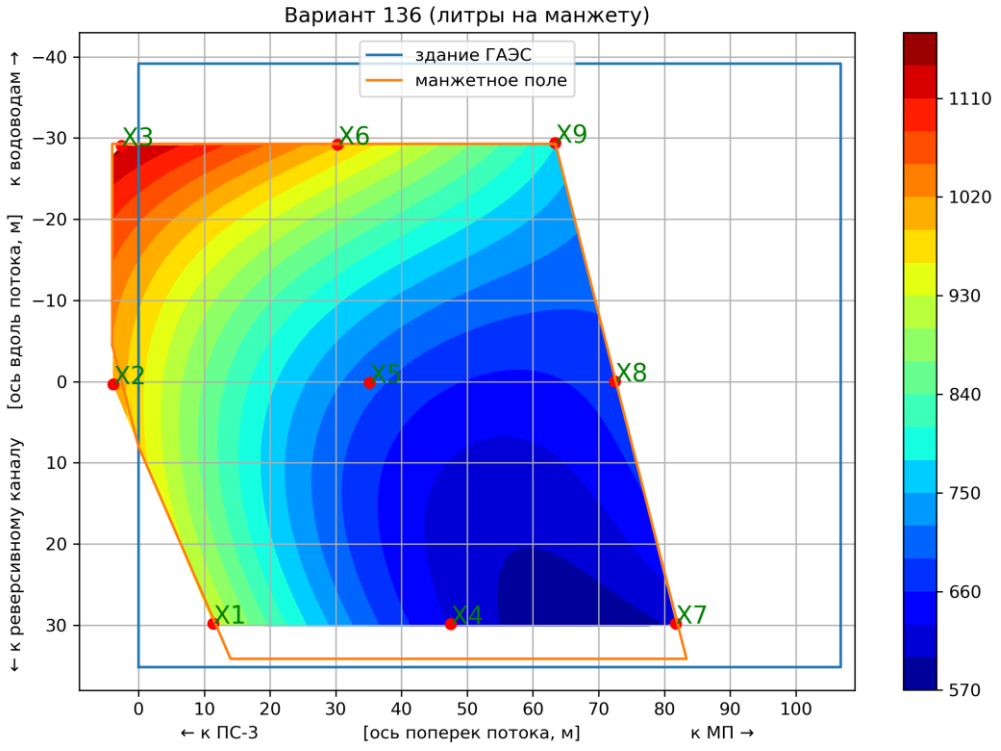


Рисунок Г.1.136.

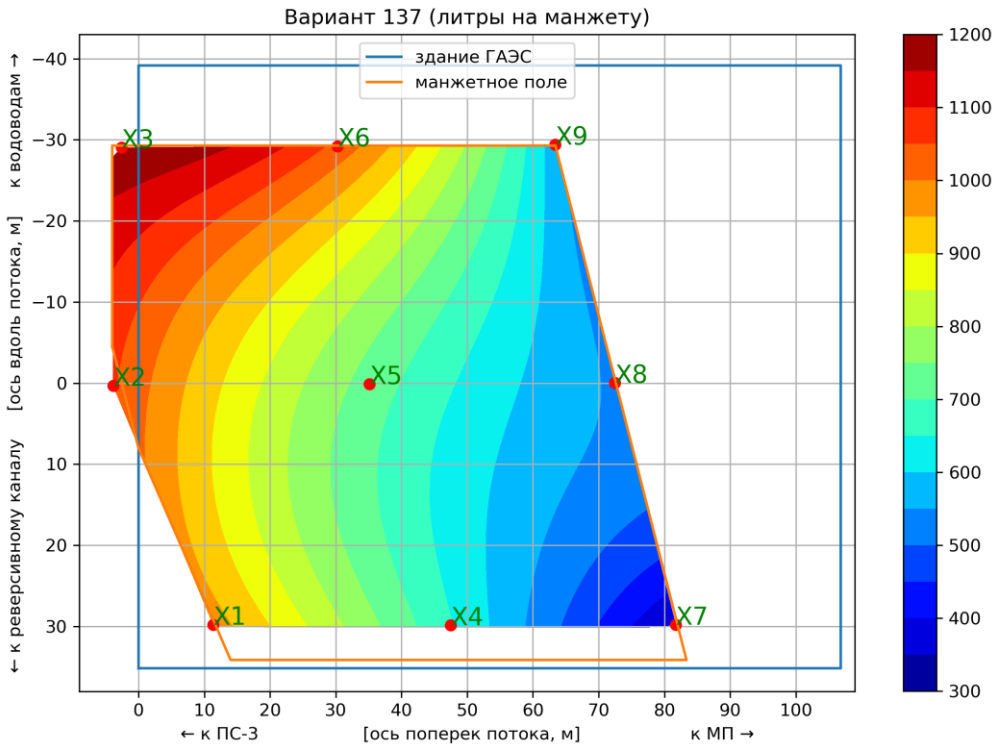


Рисунок Г.1.137.

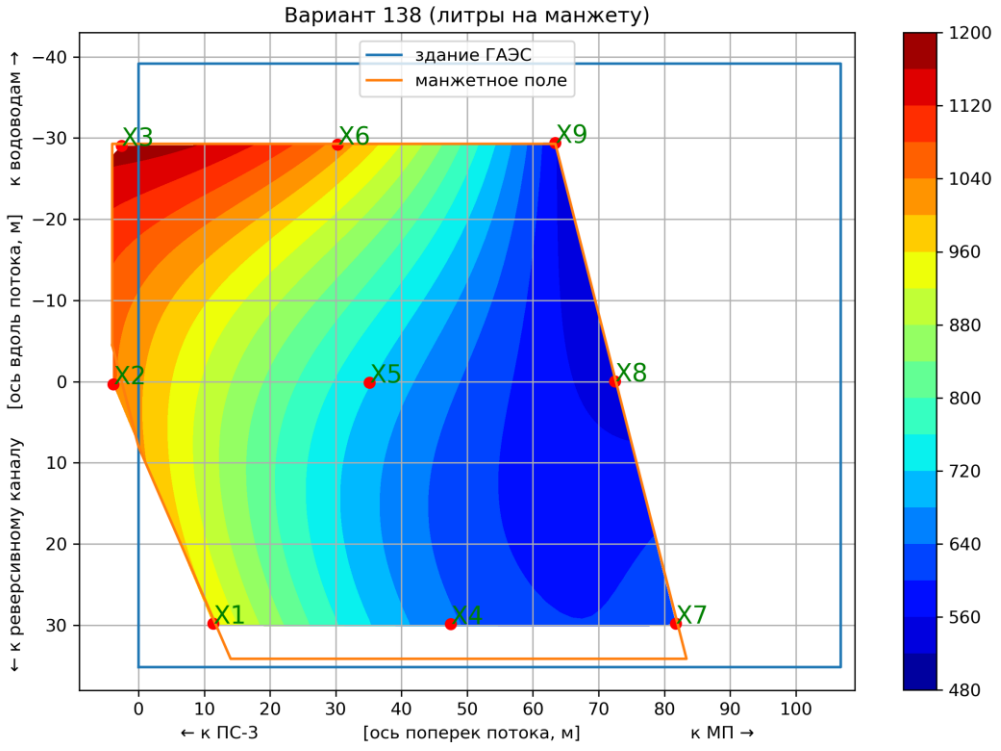


Рисунок Г.1.138.

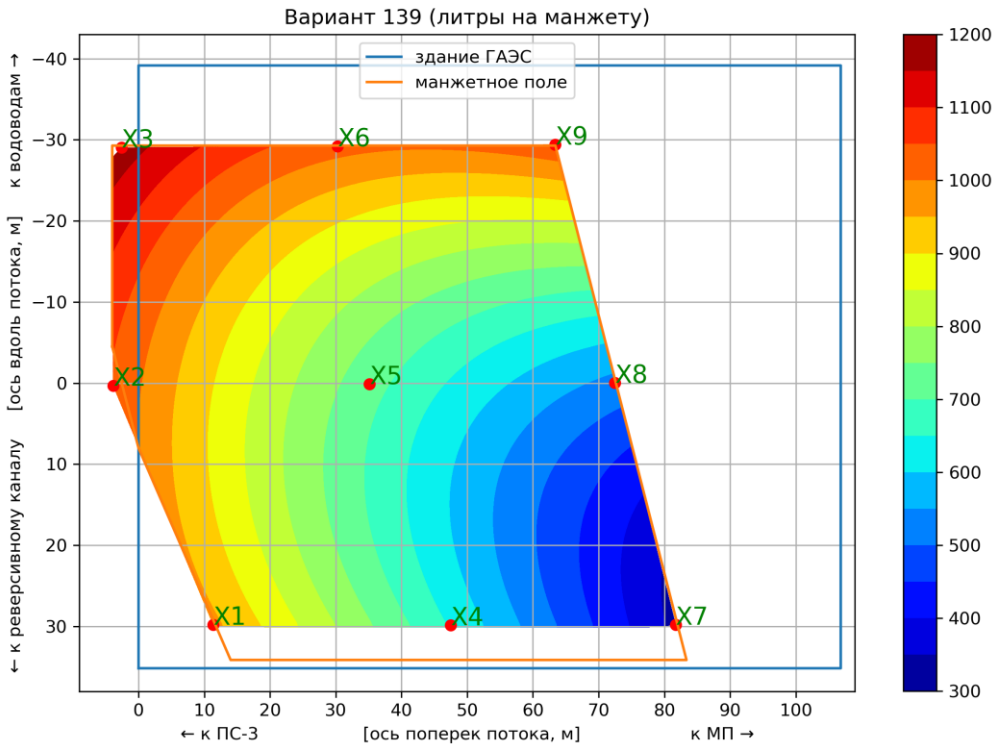


Рисунок Г.1.139.

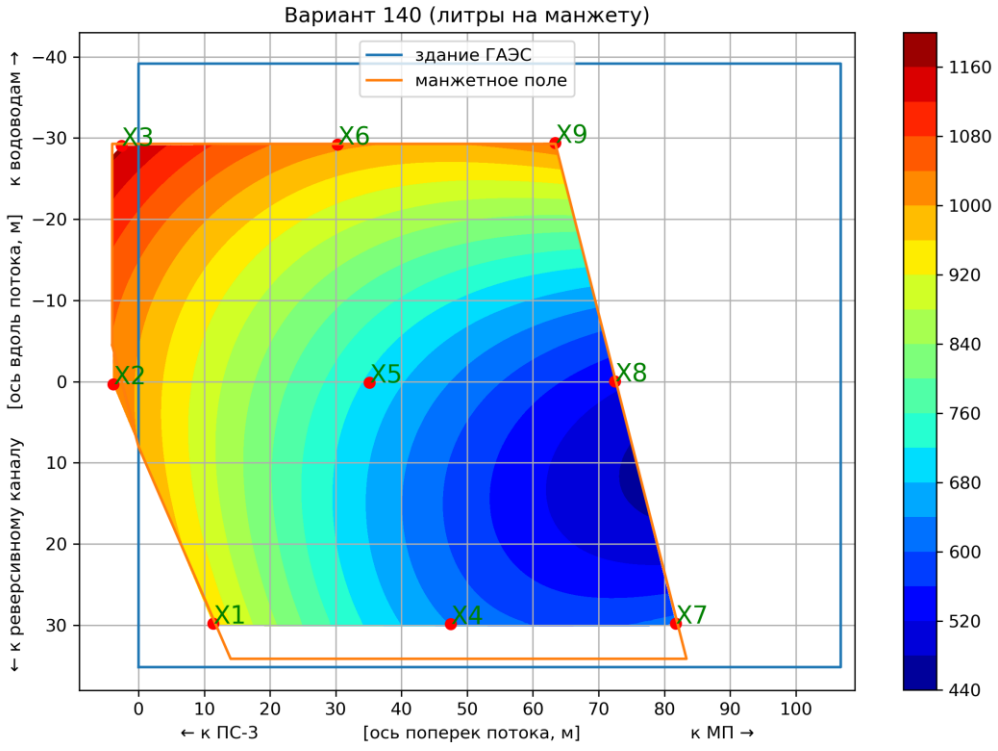


Рисунок Г.1.140.

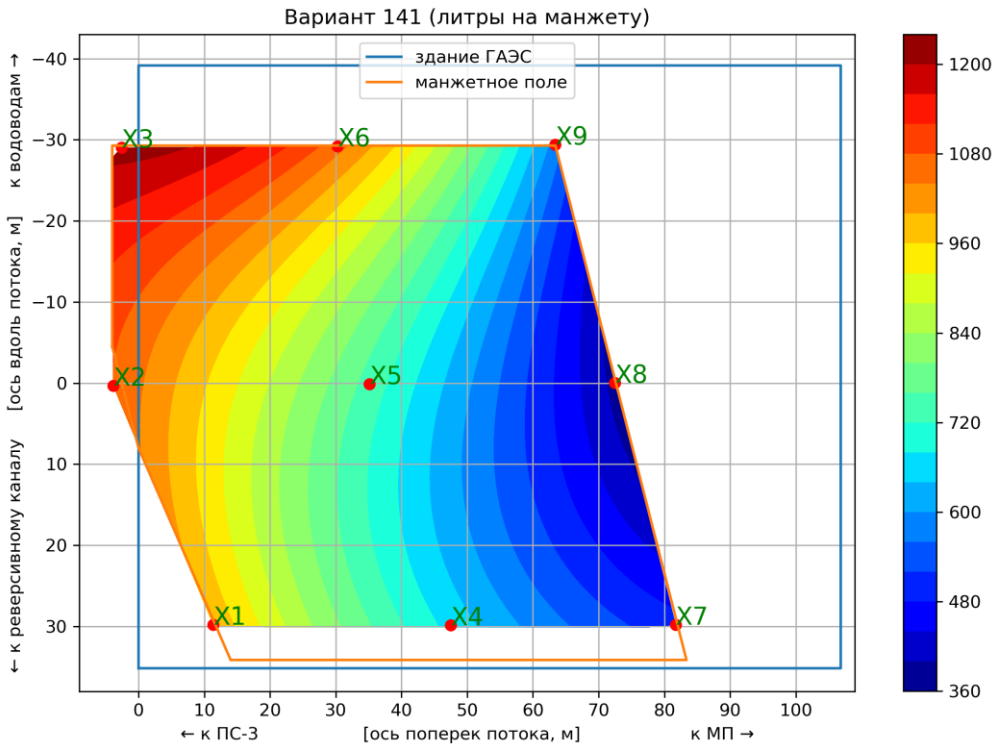


Рисунок Г.1.141.

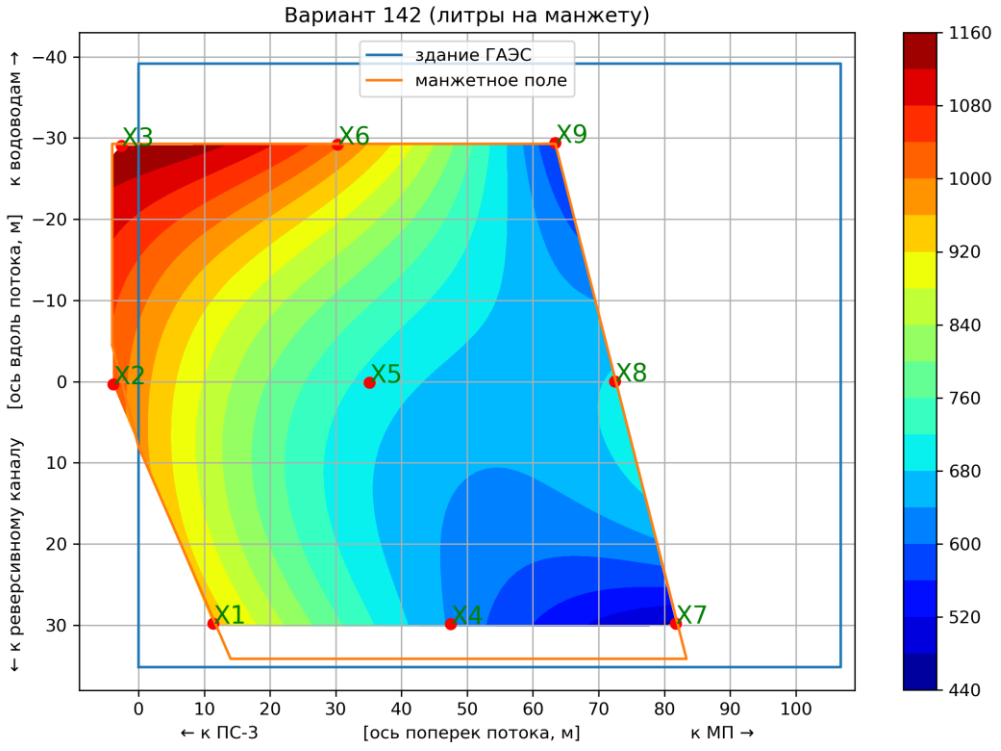


Рисунок Г.1.142.

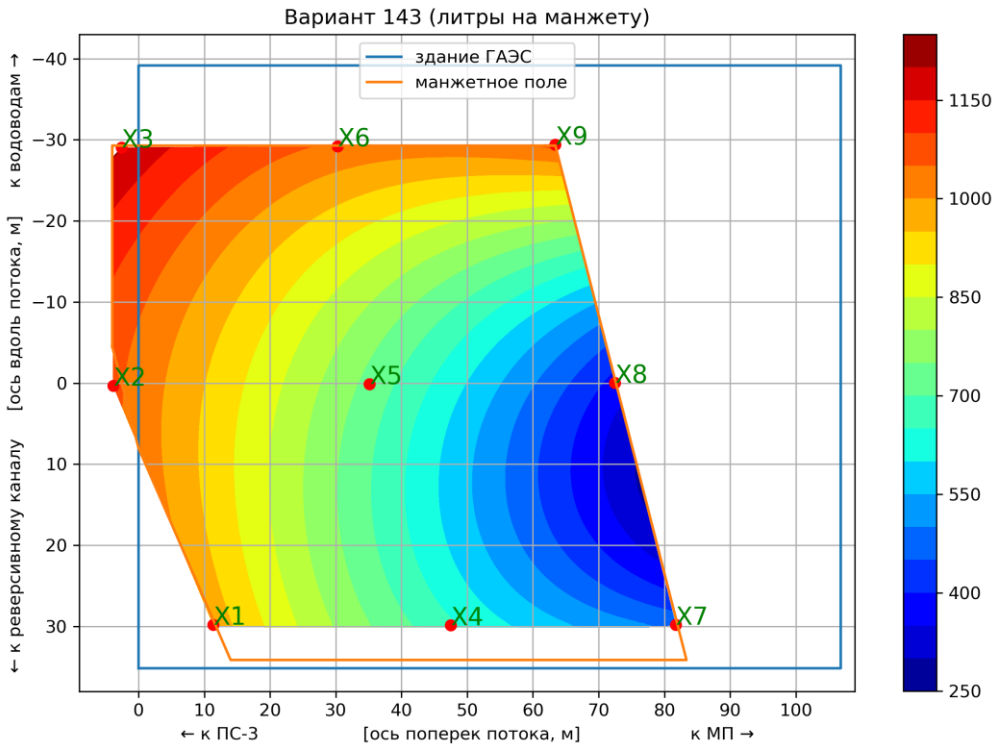


Рисунок Г.1.143.

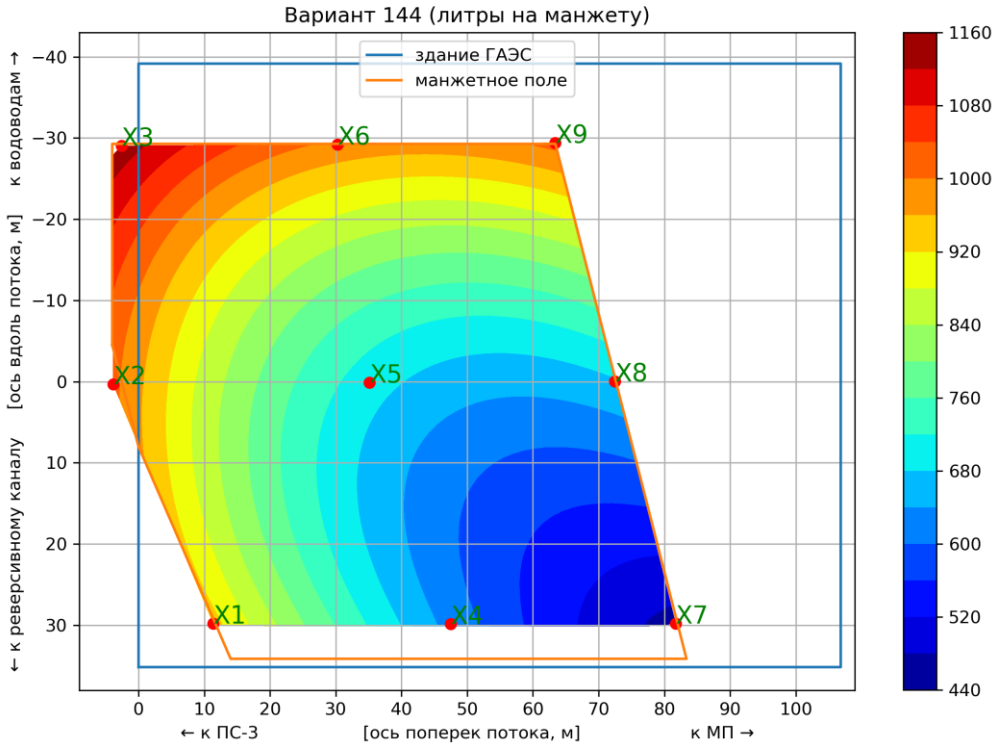


Рисунок Г.1.144.

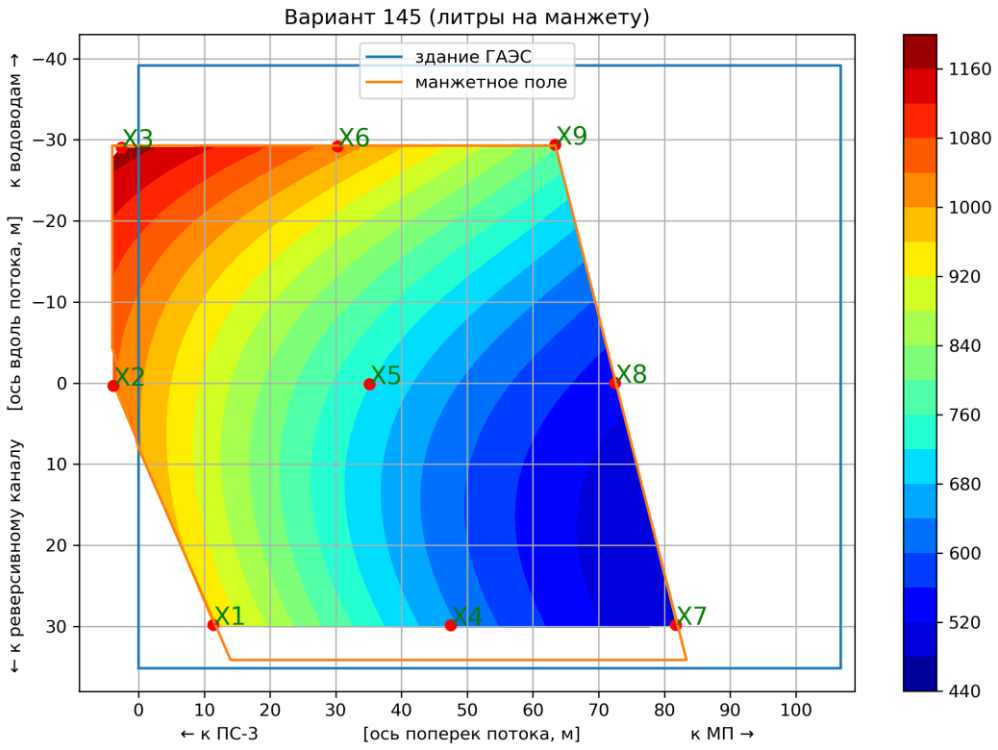


Рисунок Г.1.145.

Г.2. Варьирование проектного распределения объемов компенсационного раствора по теории планирования эксперимента. Дополнительное факторное пространство

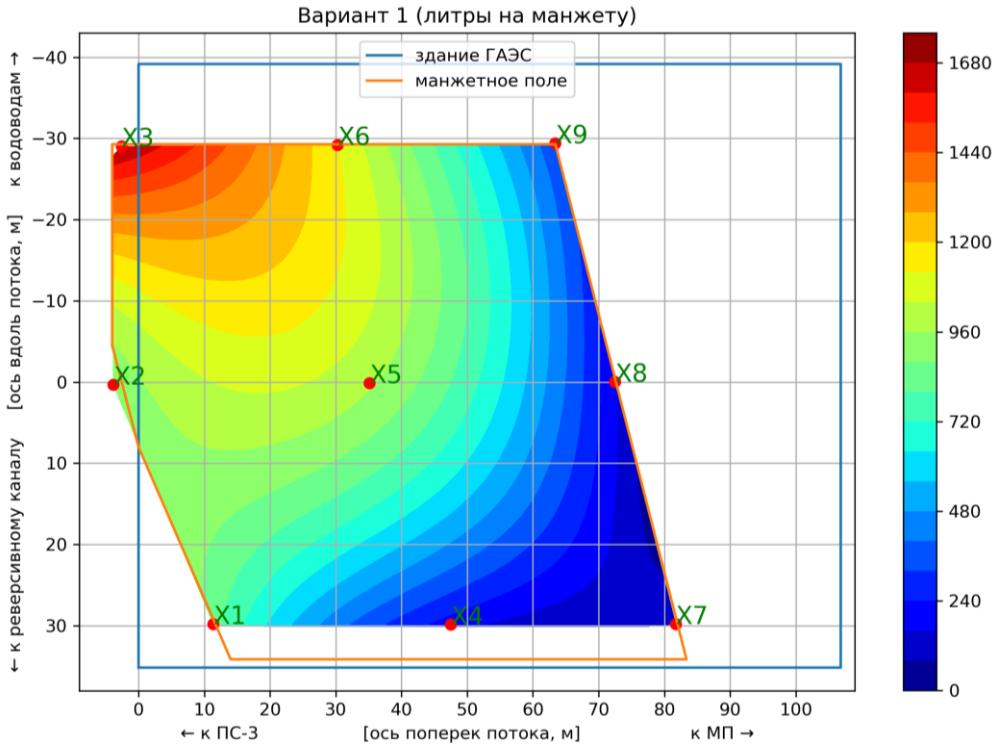


Рисунок Г.2.1.

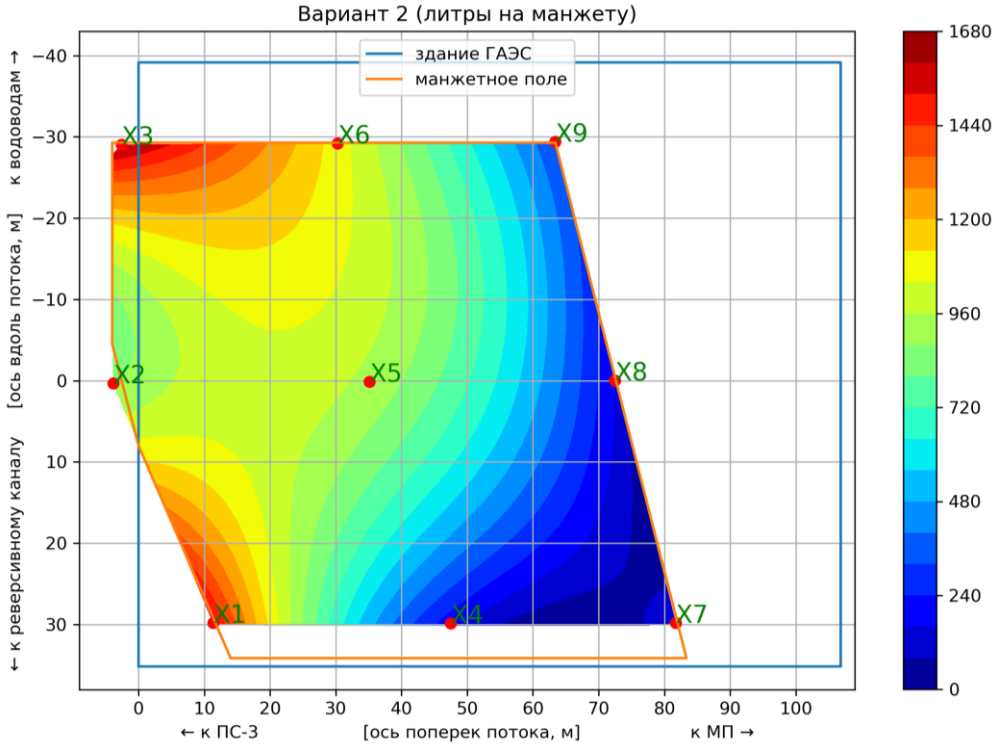


Рисунок Г.2.2.

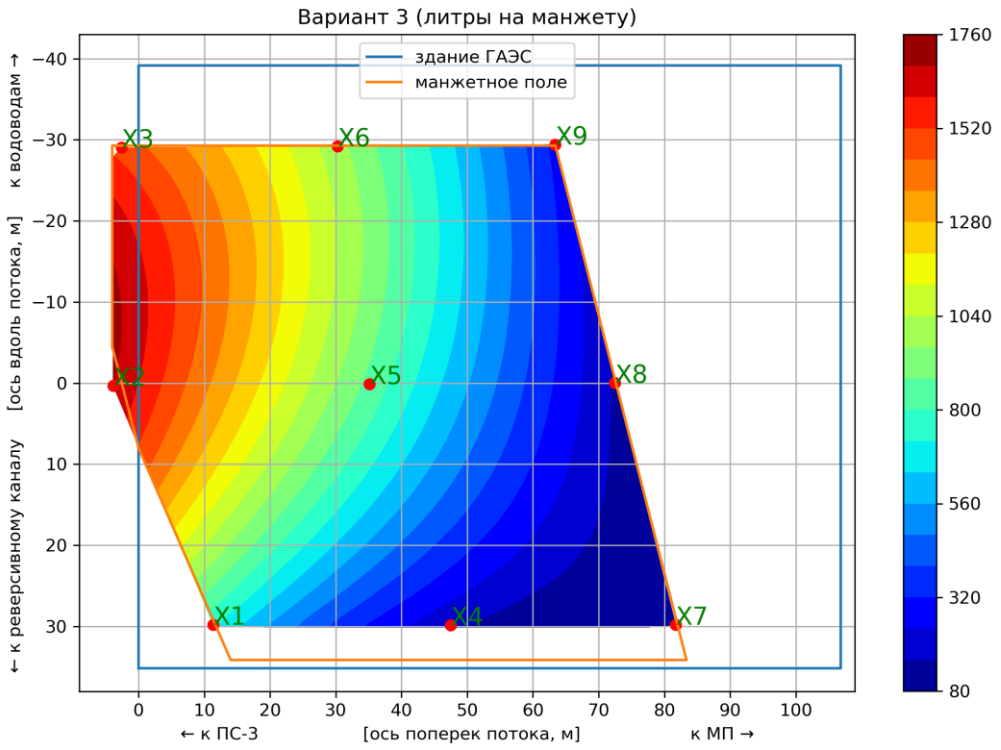


Рисунок Г.2.3.

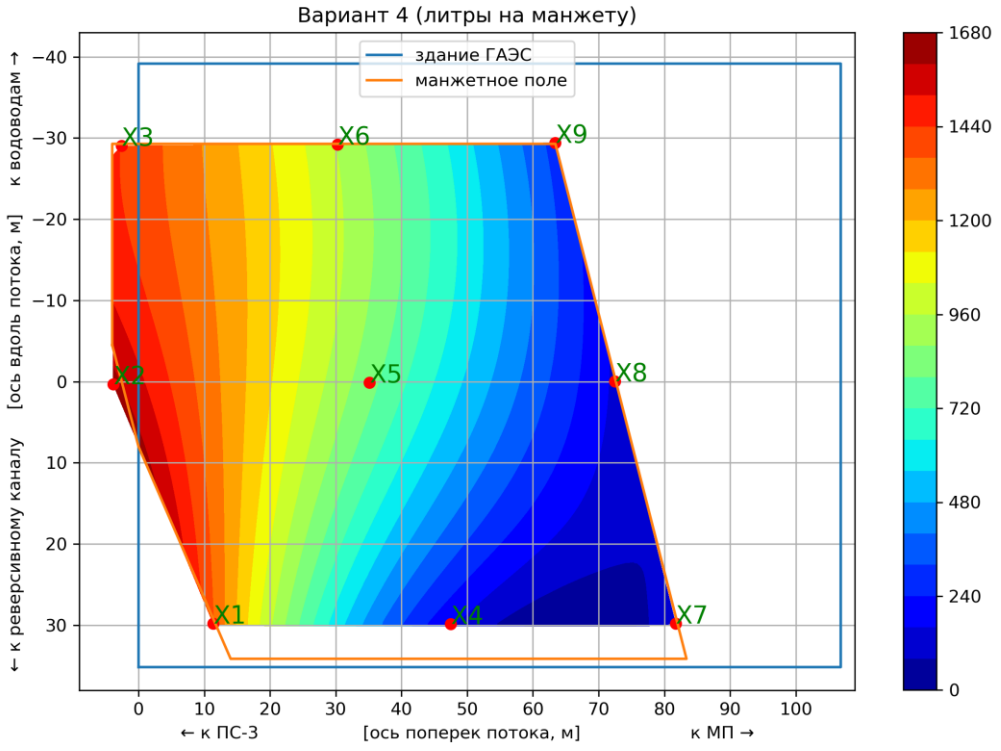


Рисунок Г.2.4.

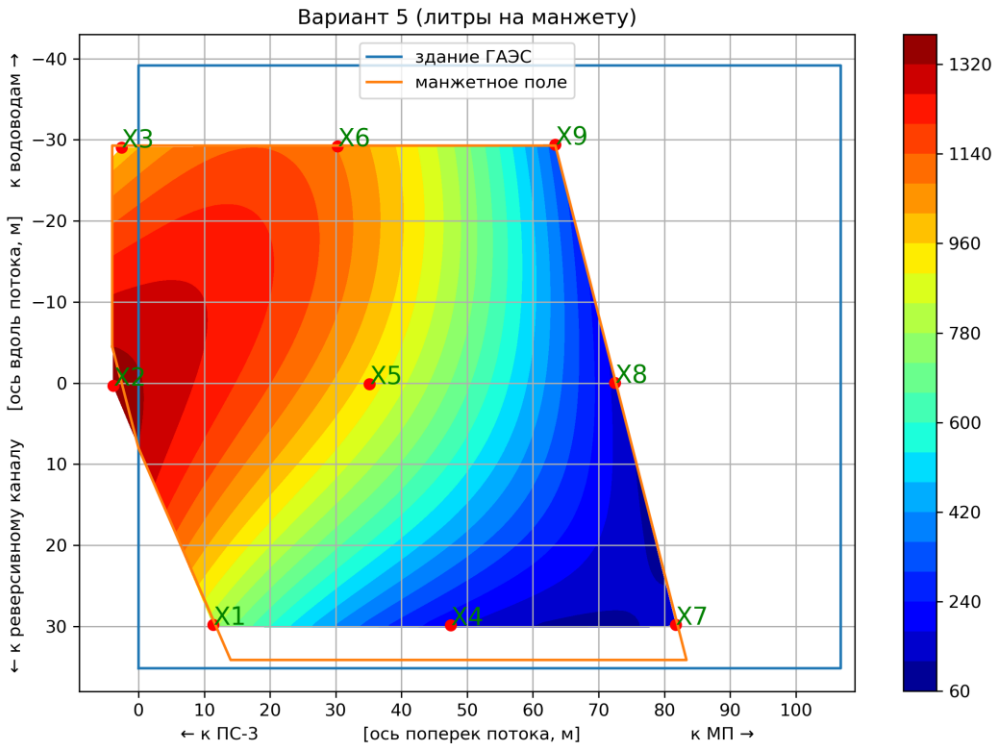


Рисунок Г.2.5.

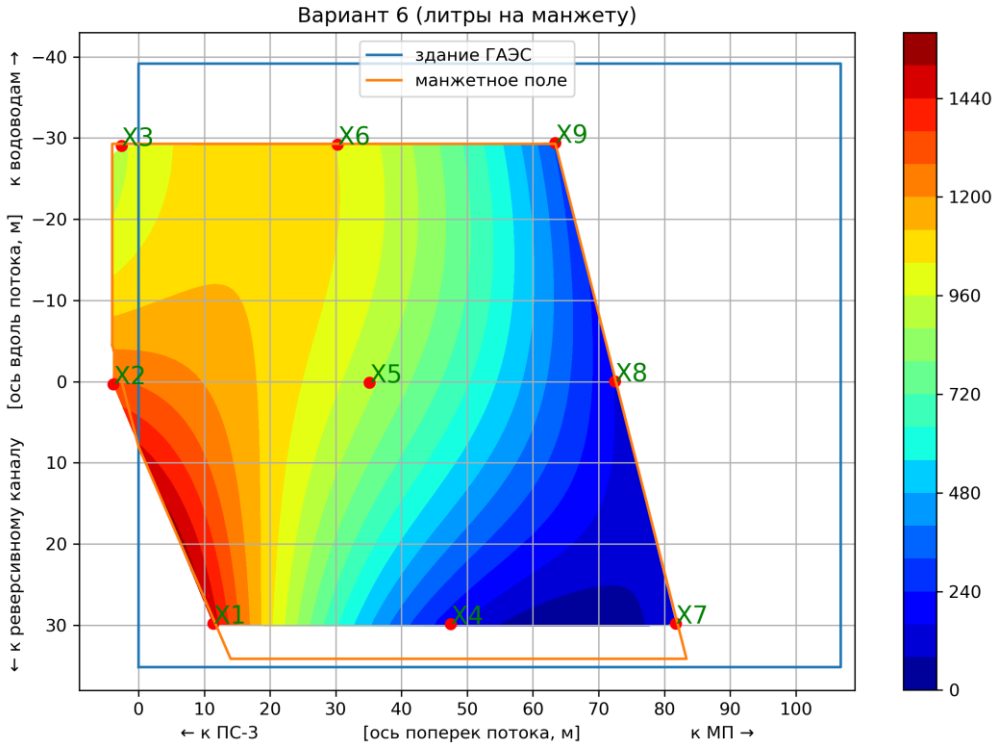


Рисунок Г.2.6.

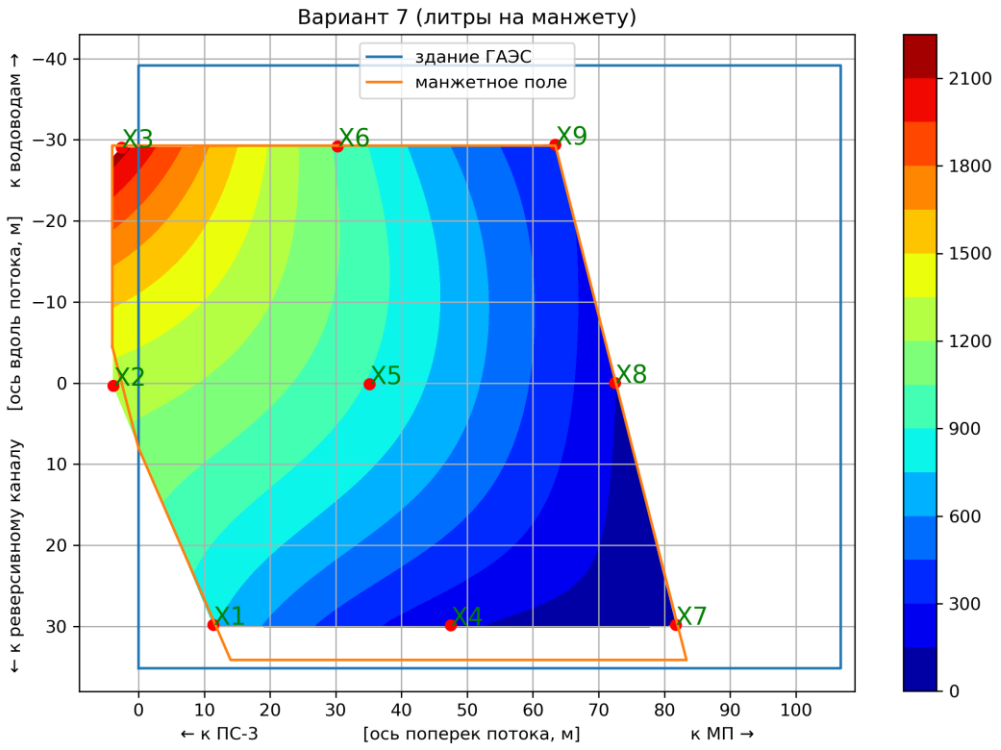


Рисунок Г.2.7.

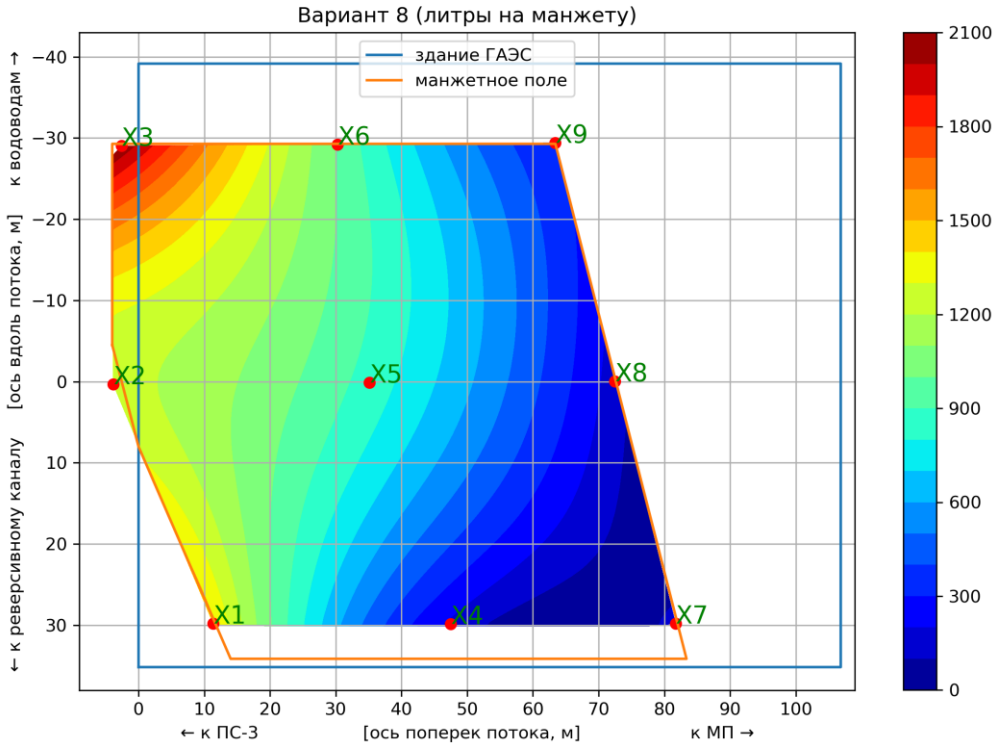


Рисунок Г.2.8.

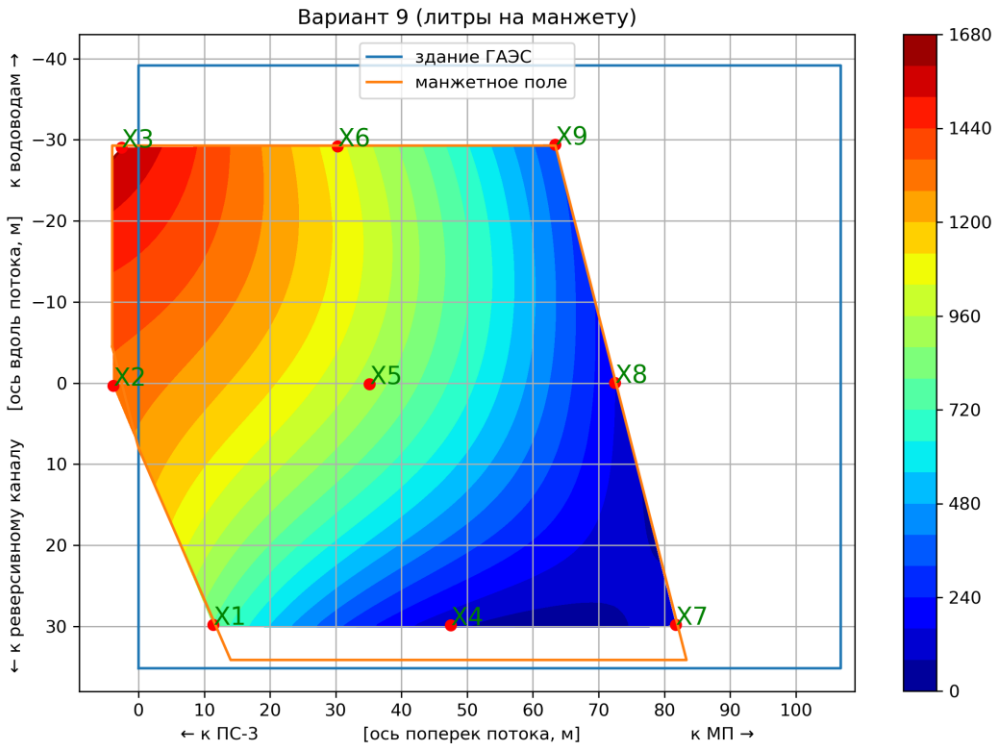


Рисунок Г.2.9.

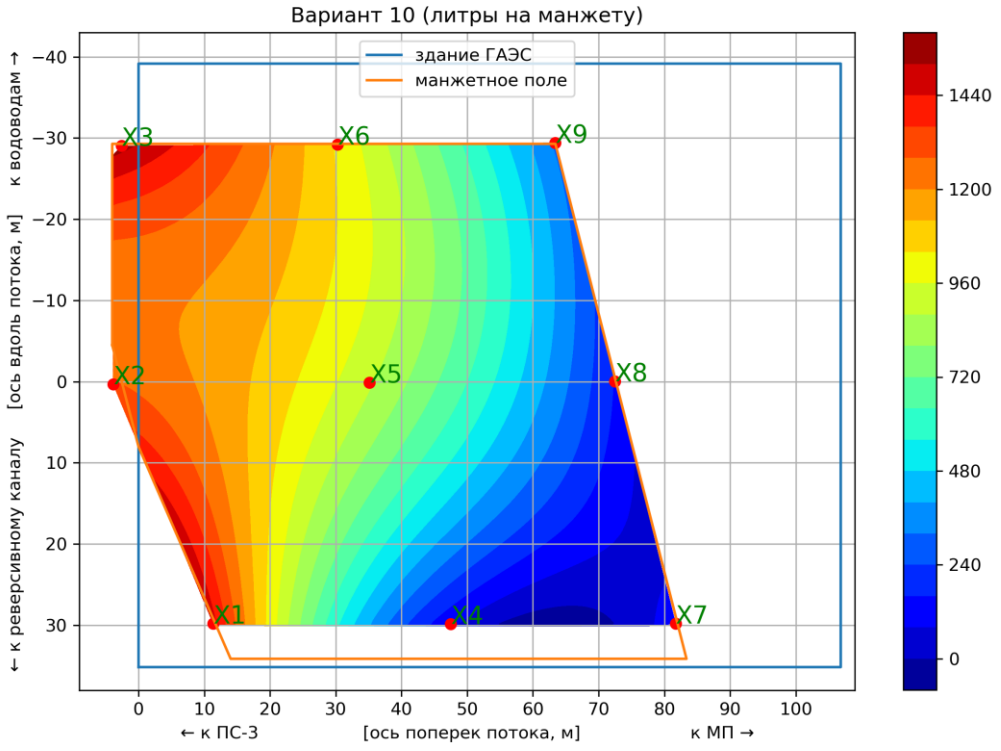


Рисунок Г.2.10.

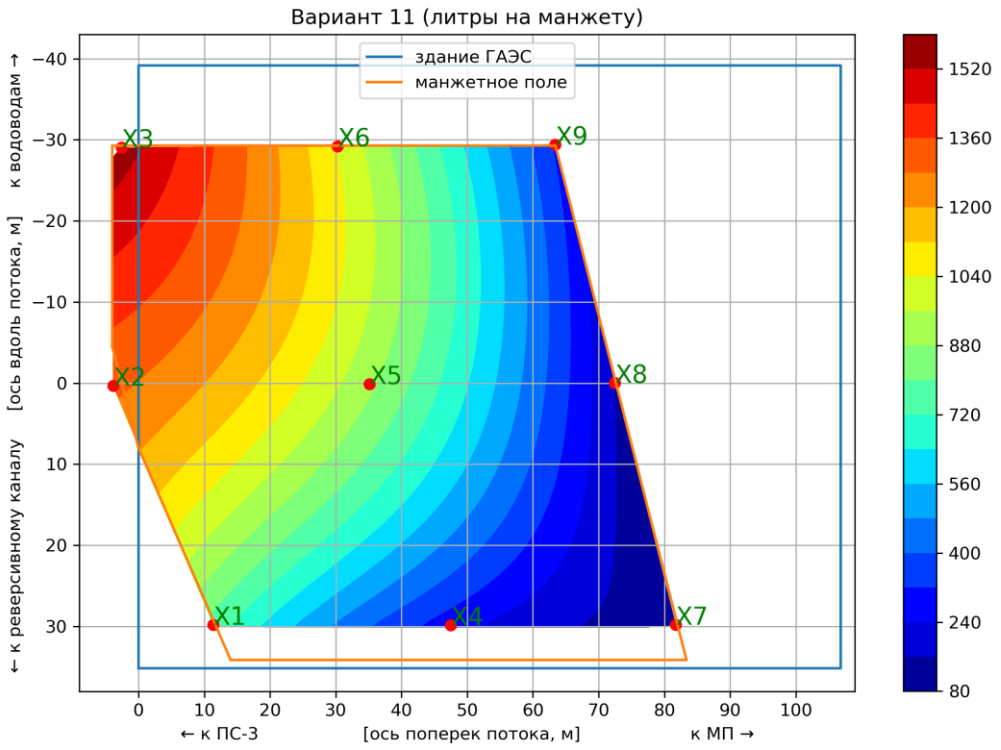


Рисунок Г.2.11.

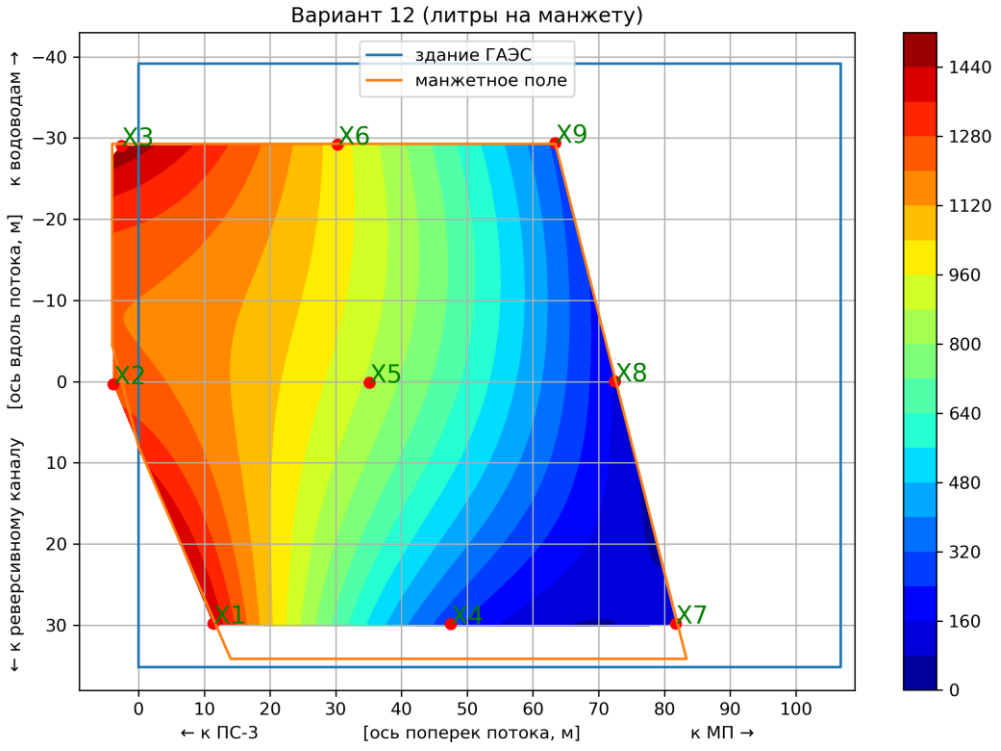


Рисунок Г.2.12.

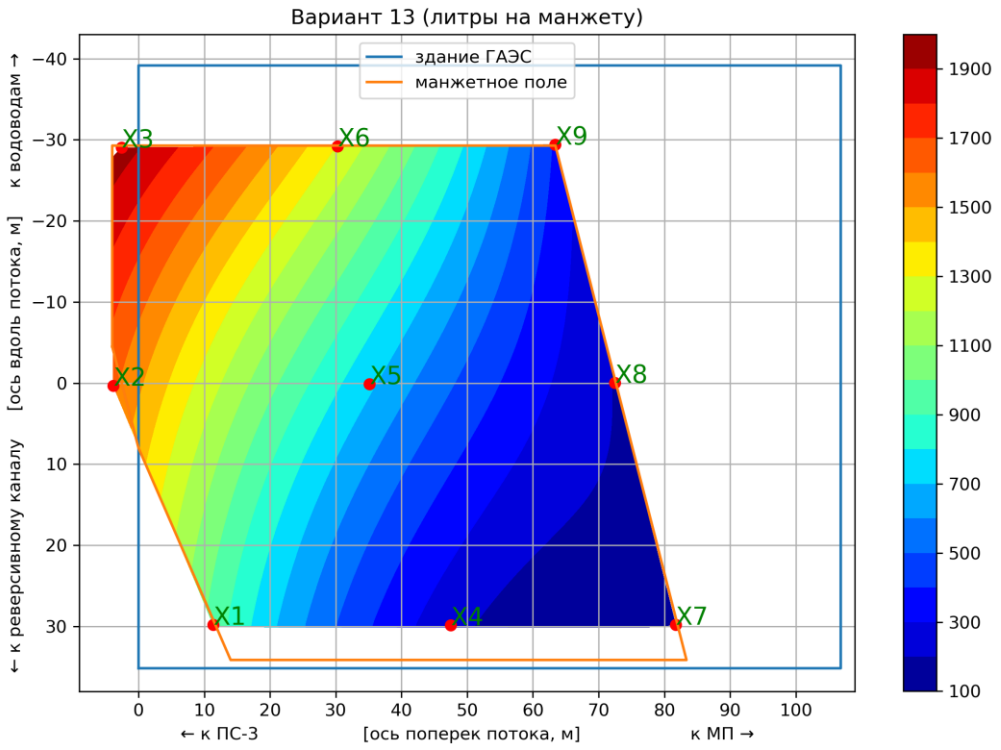


Рисунок Г.2.13.

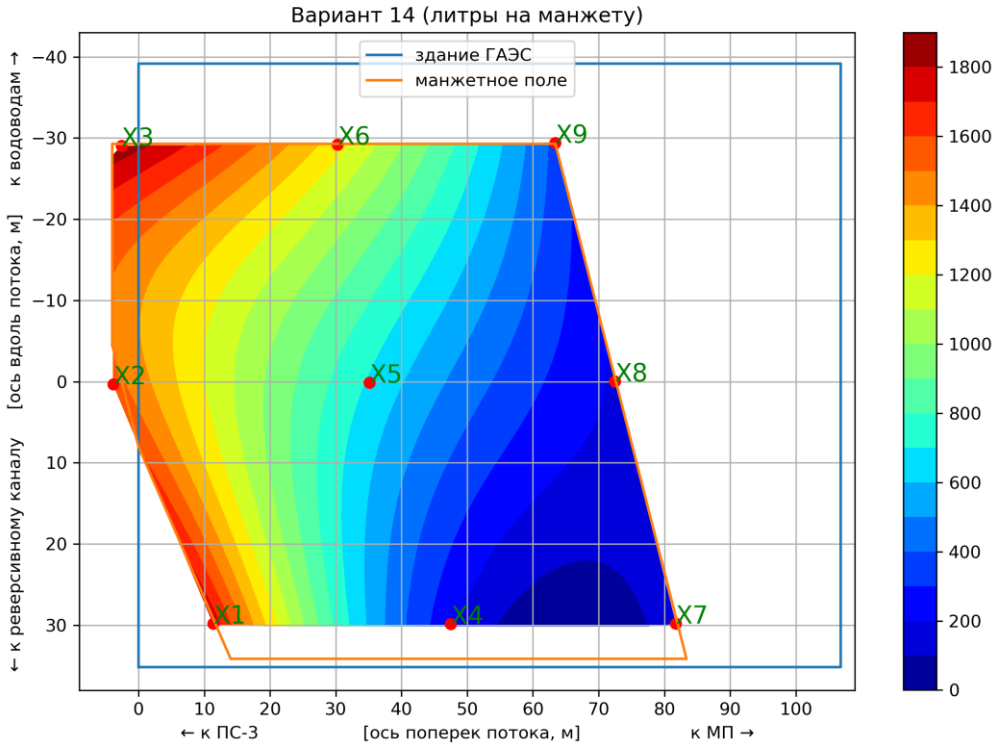


Рисунок Г.2.14.

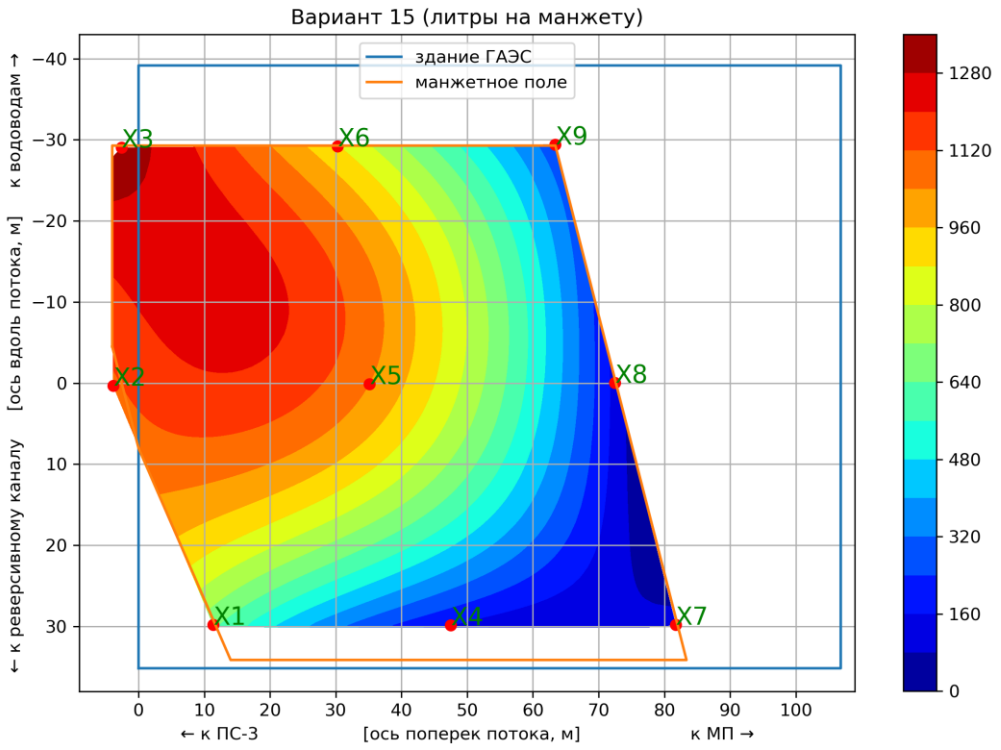


Рисунок Г.2.15.

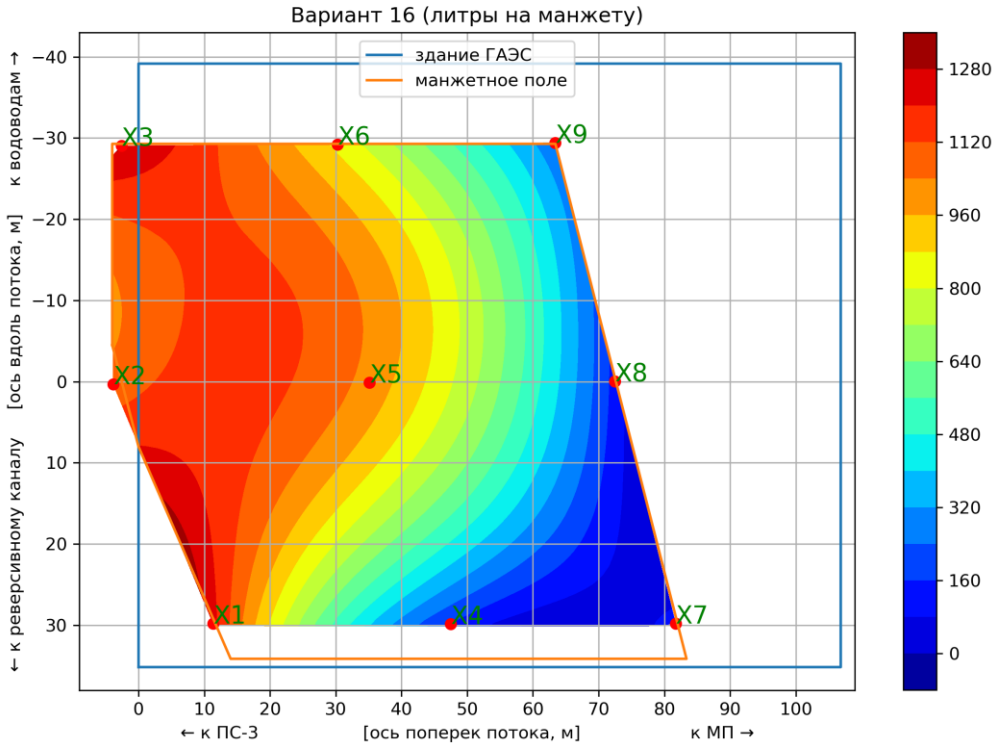


Рисунок Г.2.16.

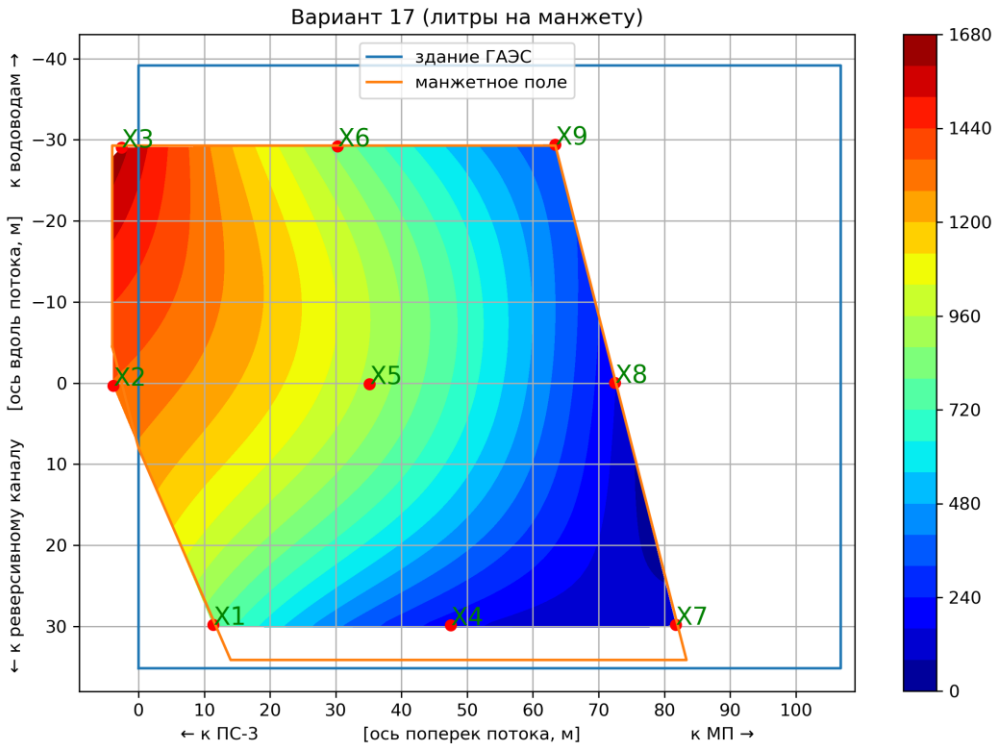


Рисунок Г.2.17.

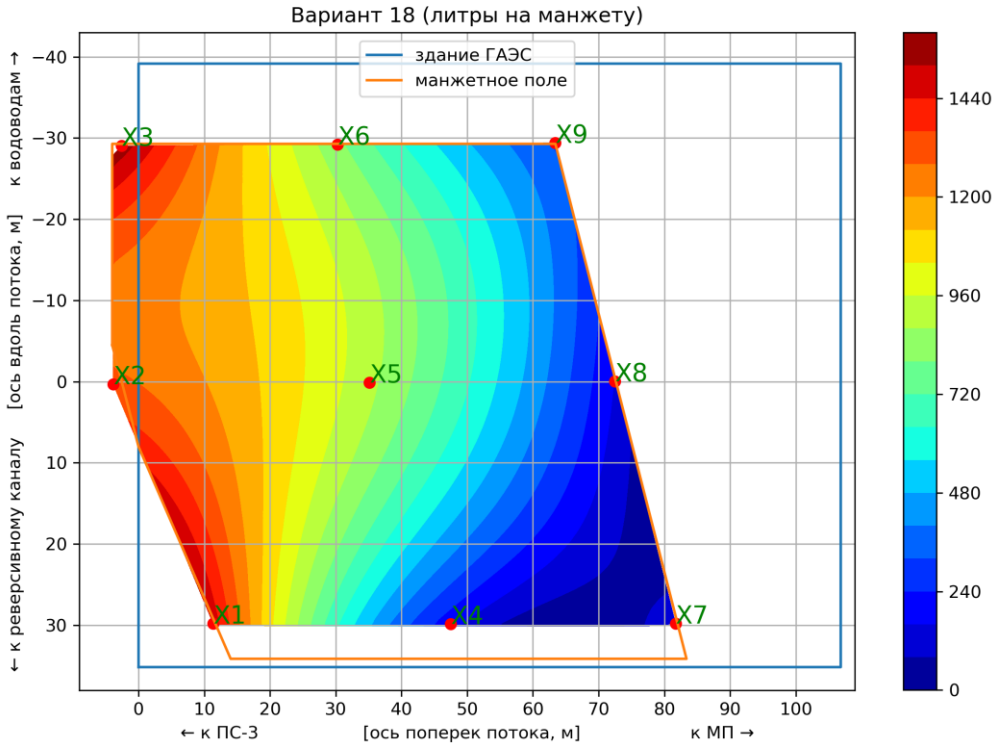


Рисунок Г.2.18.

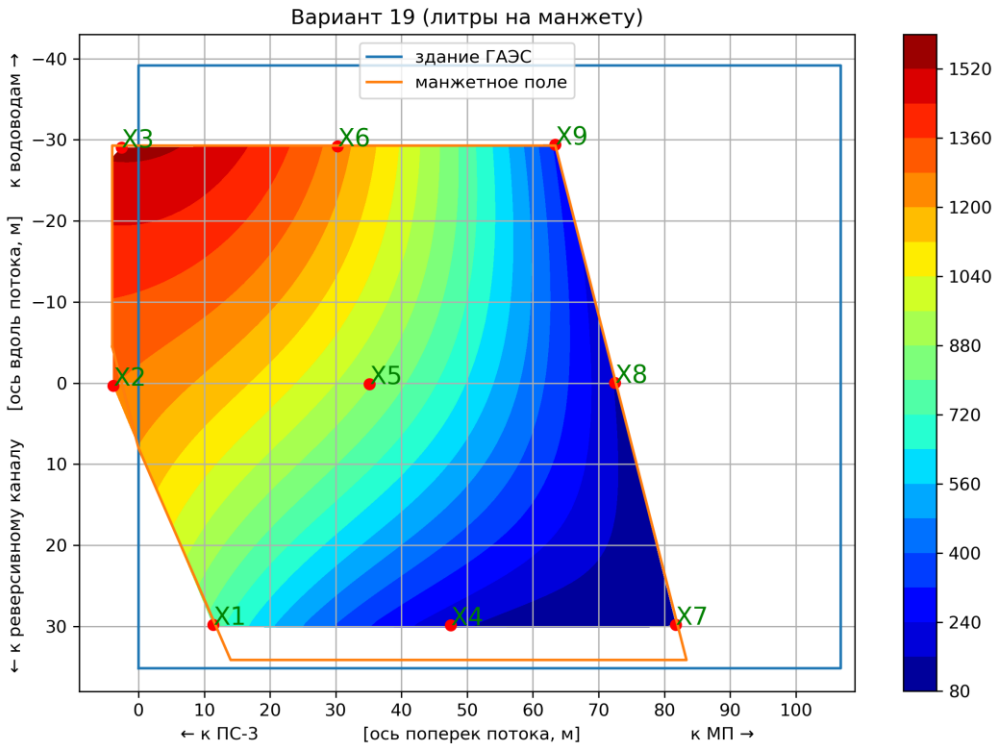


Рисунок Г.2.19.

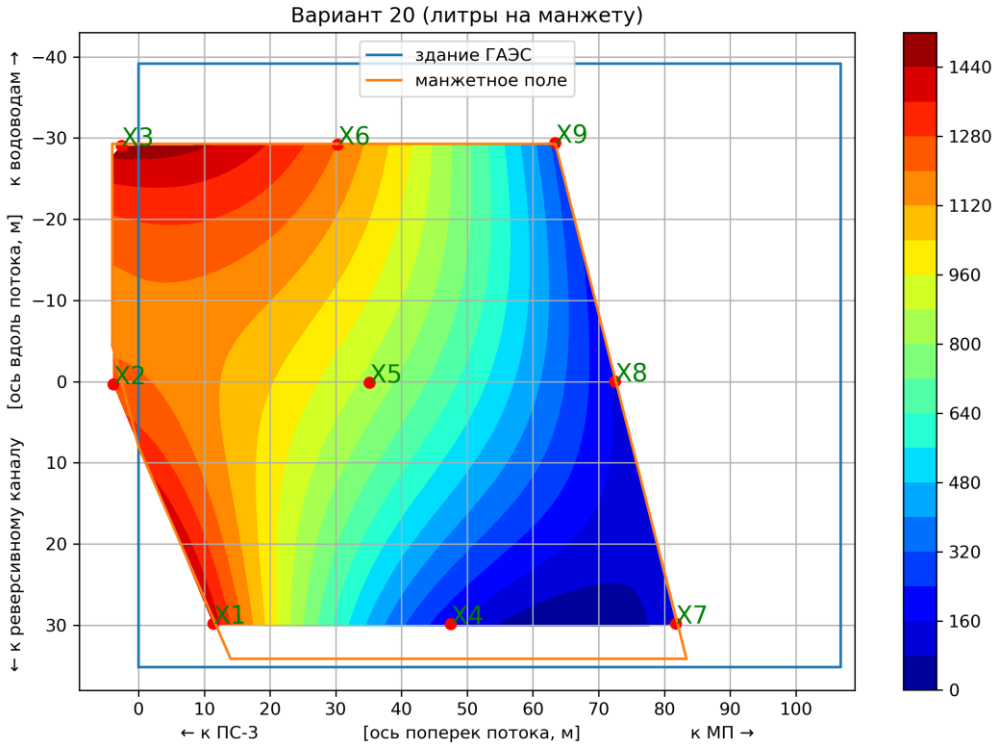


Рисунок Г.2.20.

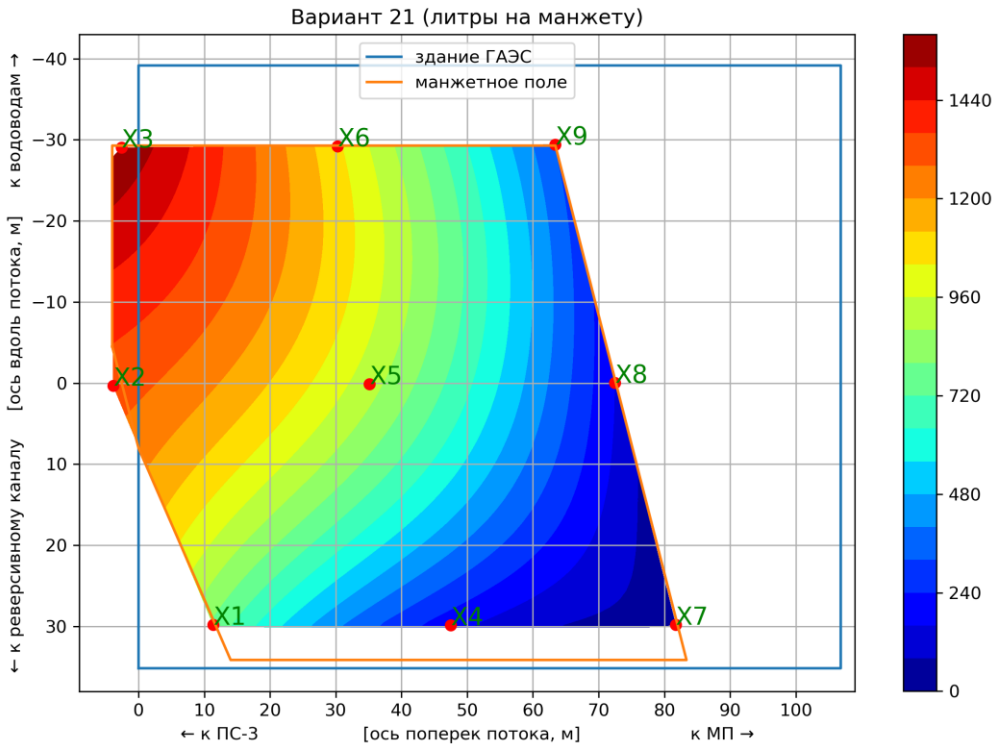


Рисунок Г.2.21.

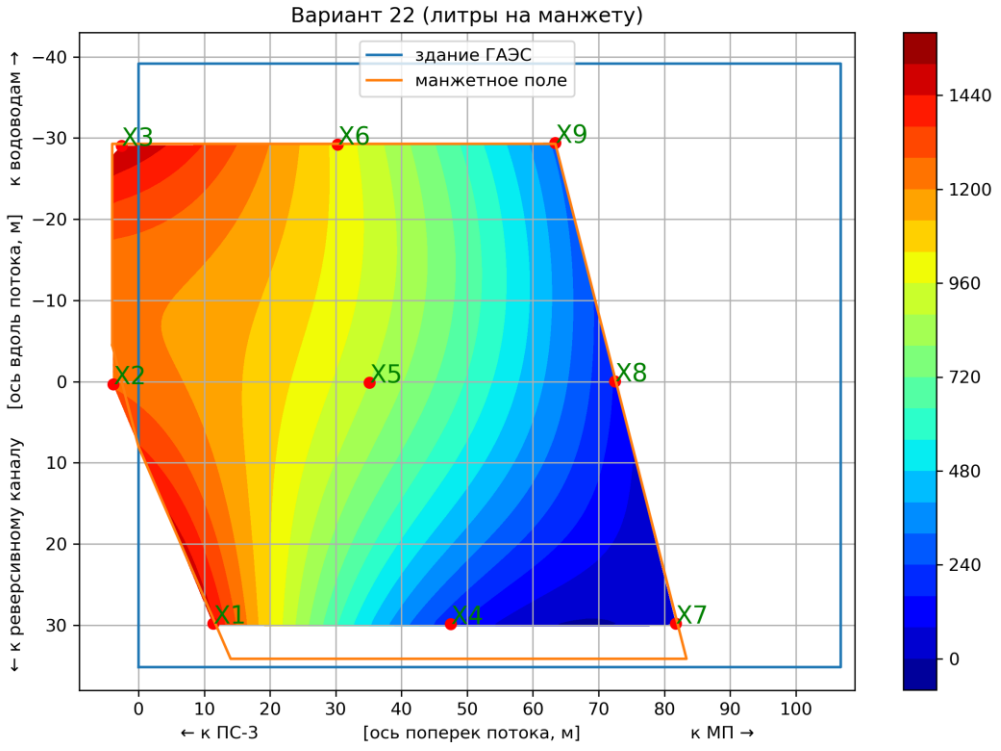


Рисунок Г.2.22.

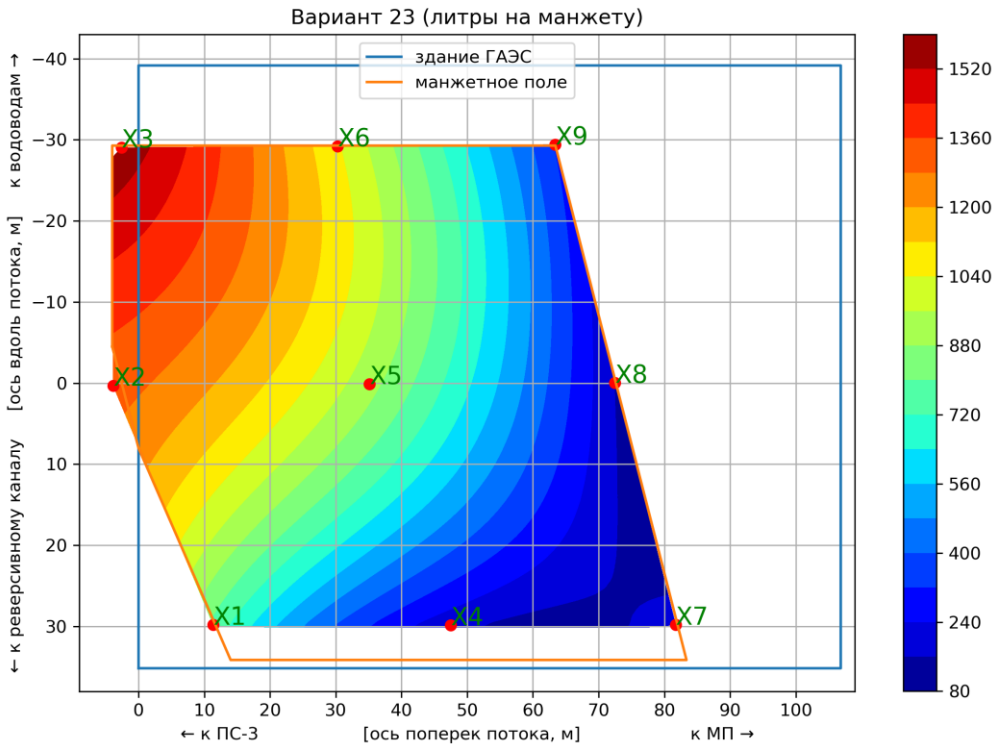


Рисунок Г.2.23.

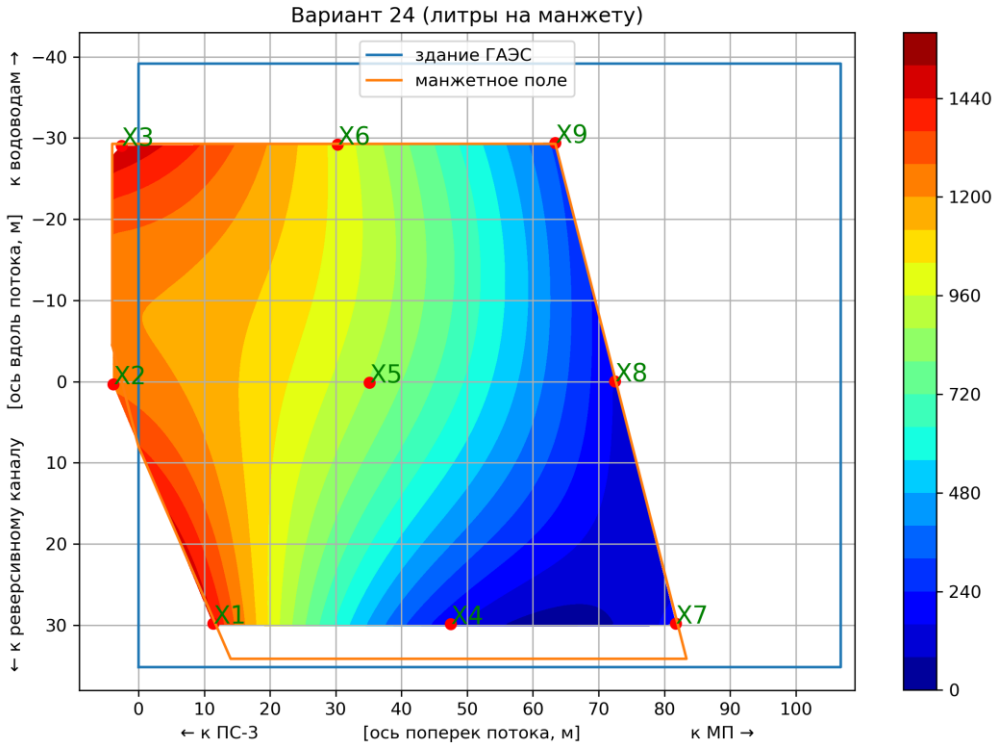


Рисунок Г.2.24.

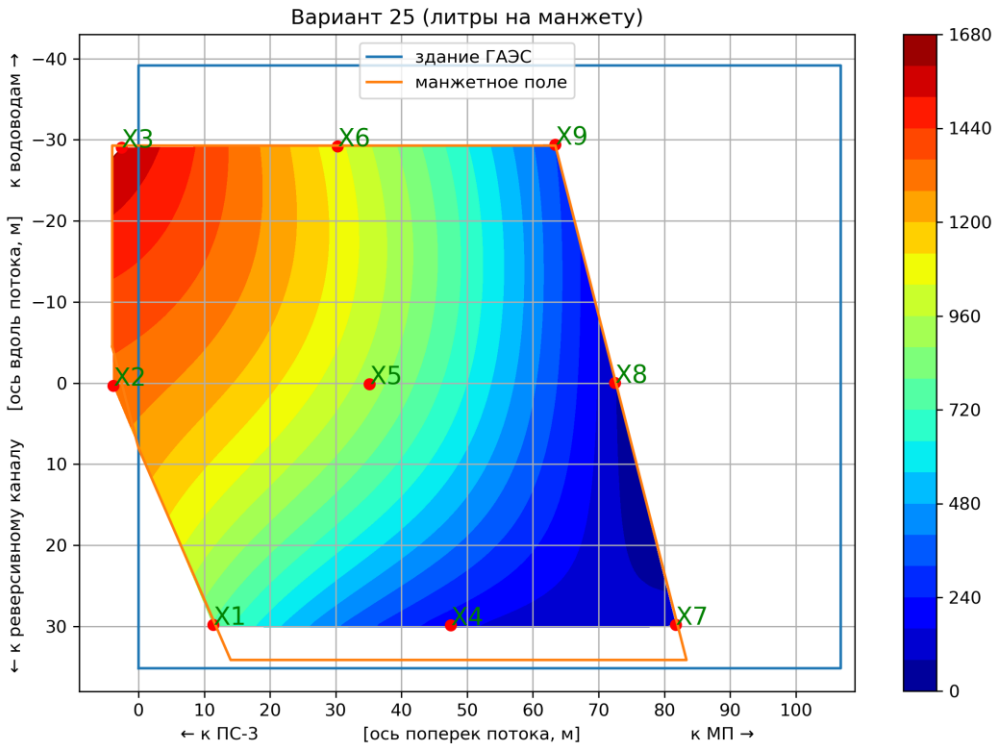


Рисунок Г.2.25.

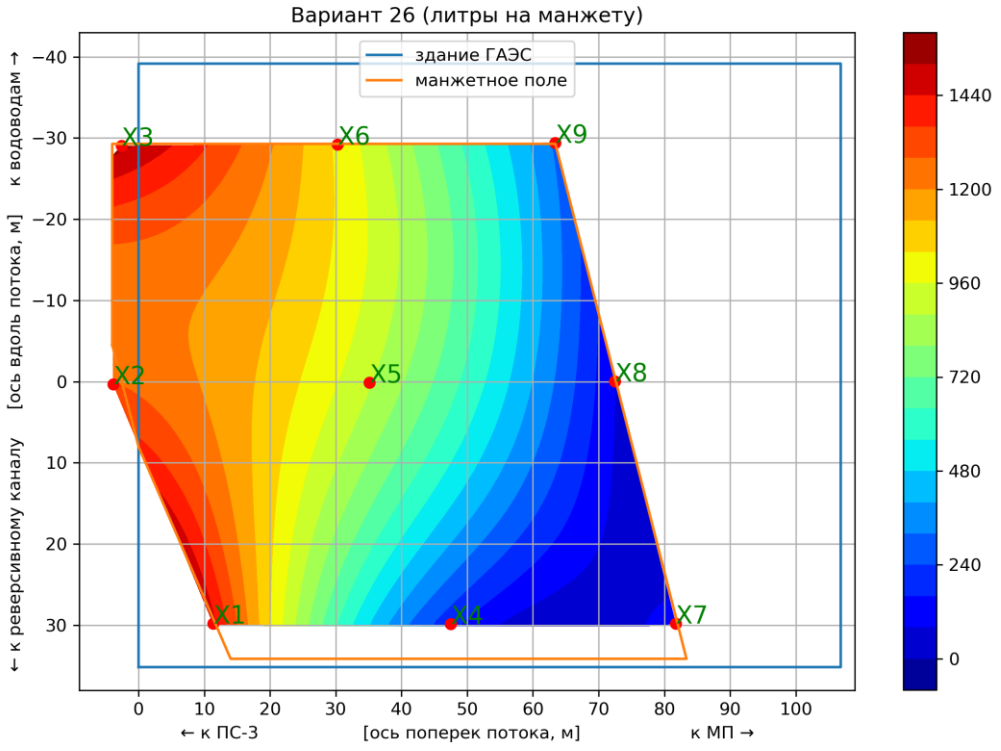


Рисунок Г.2.26.

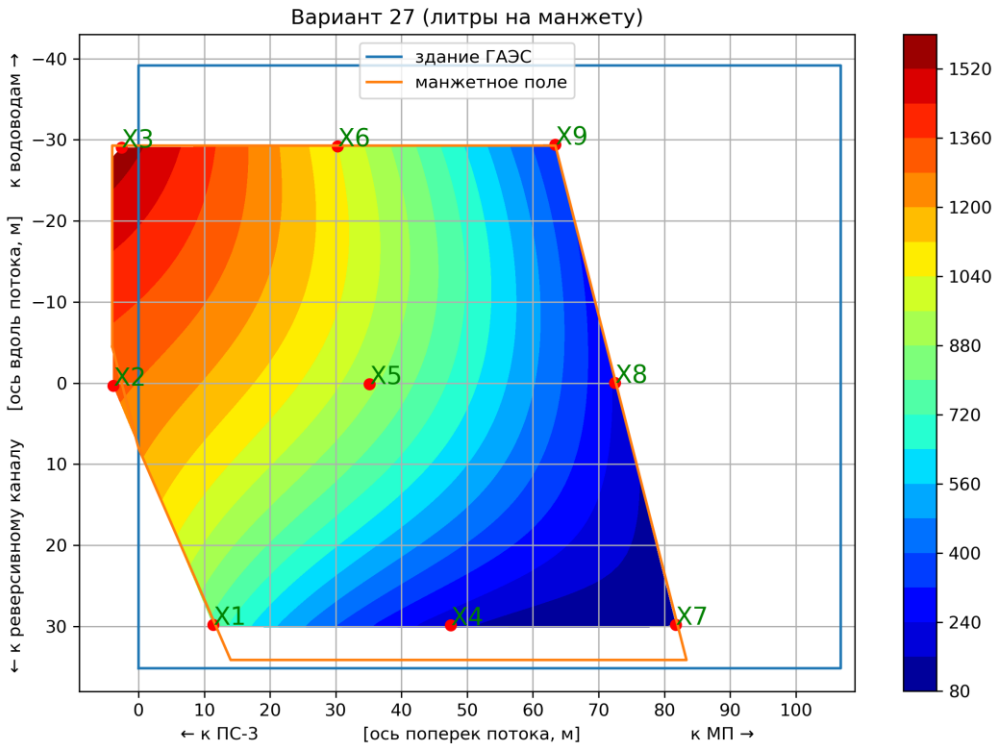


Рисунок Г.2.27.

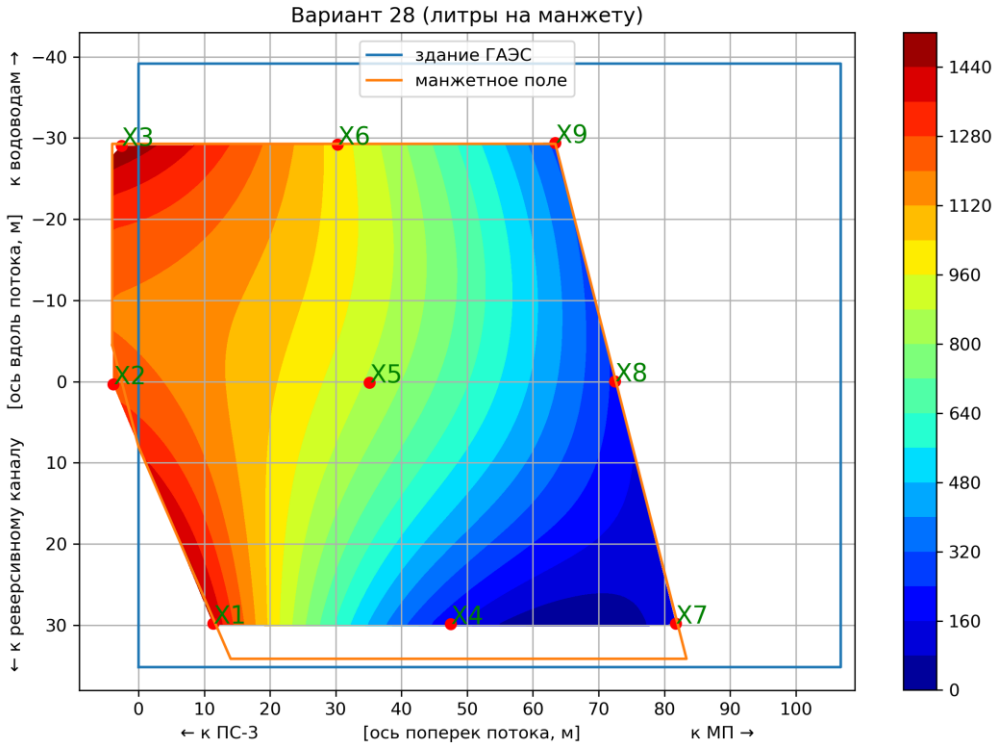


Рисунок Г.2.28.

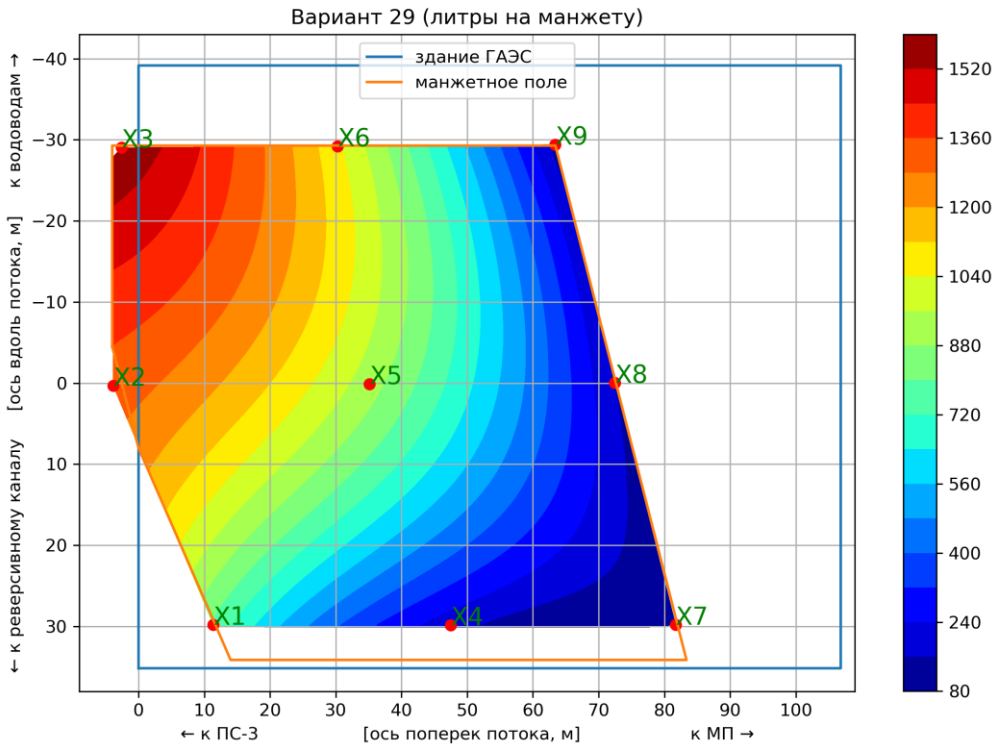


Рисунок Г.2.29.

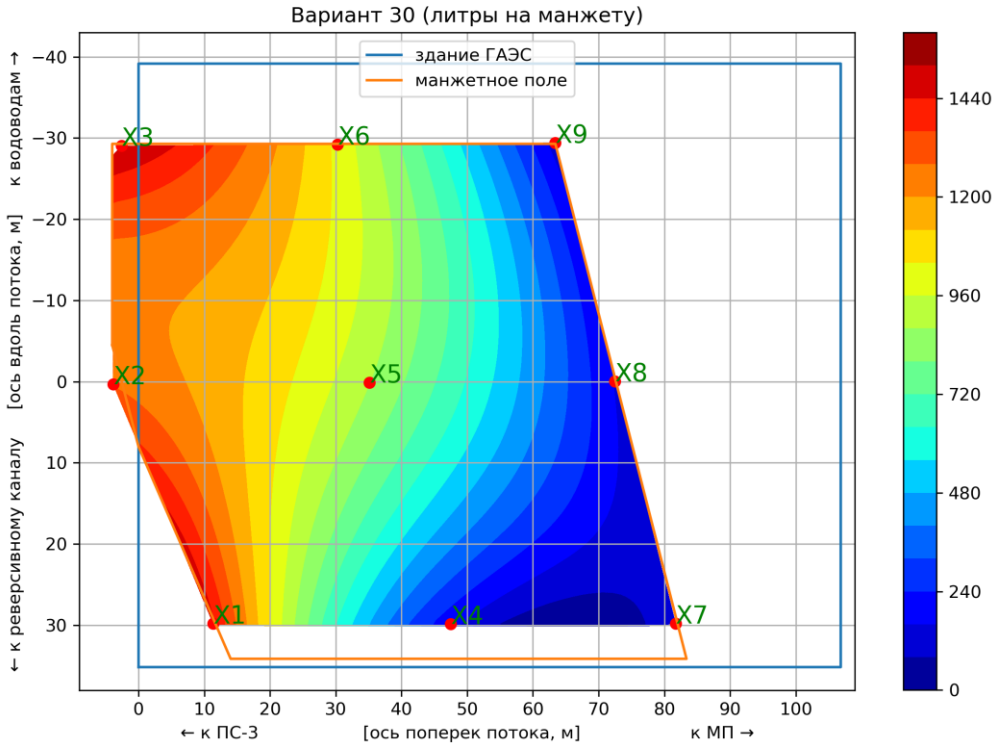


Рисунок Г.2.30.

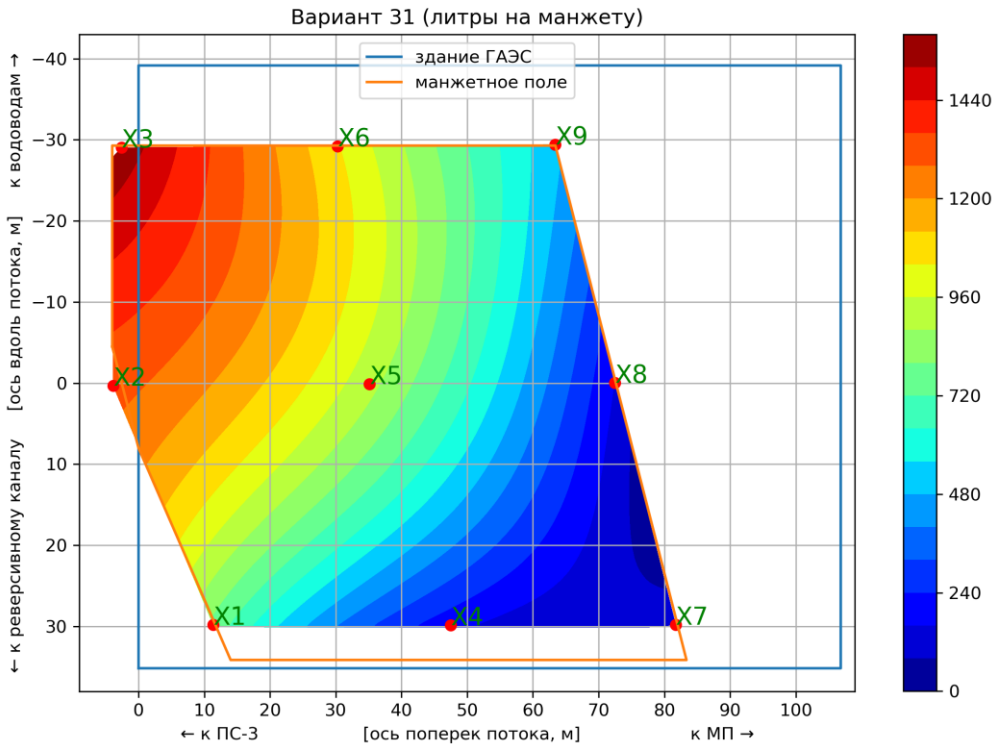


Рисунок Г.2.31.

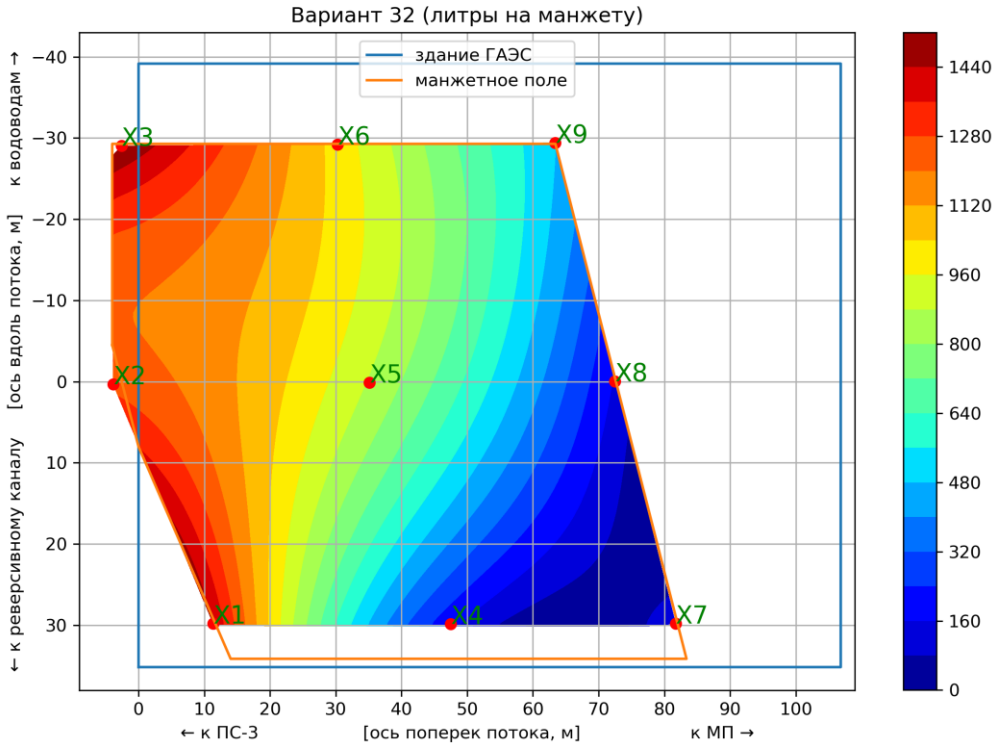


Рисунок Г.2.32.

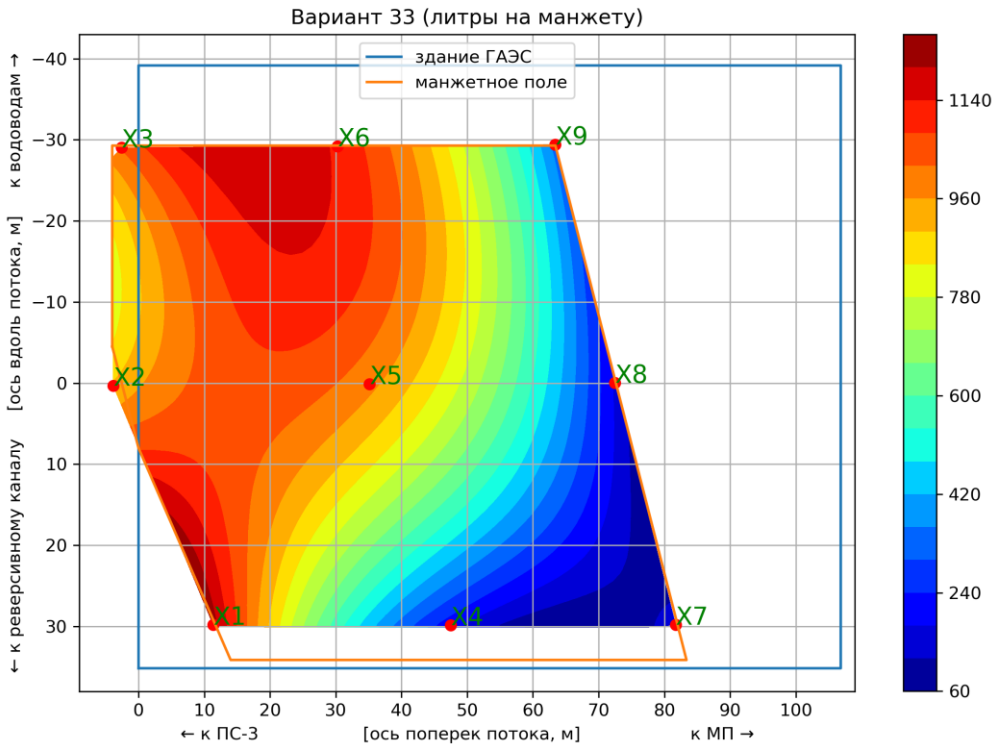


Рисунок Г.2.33.

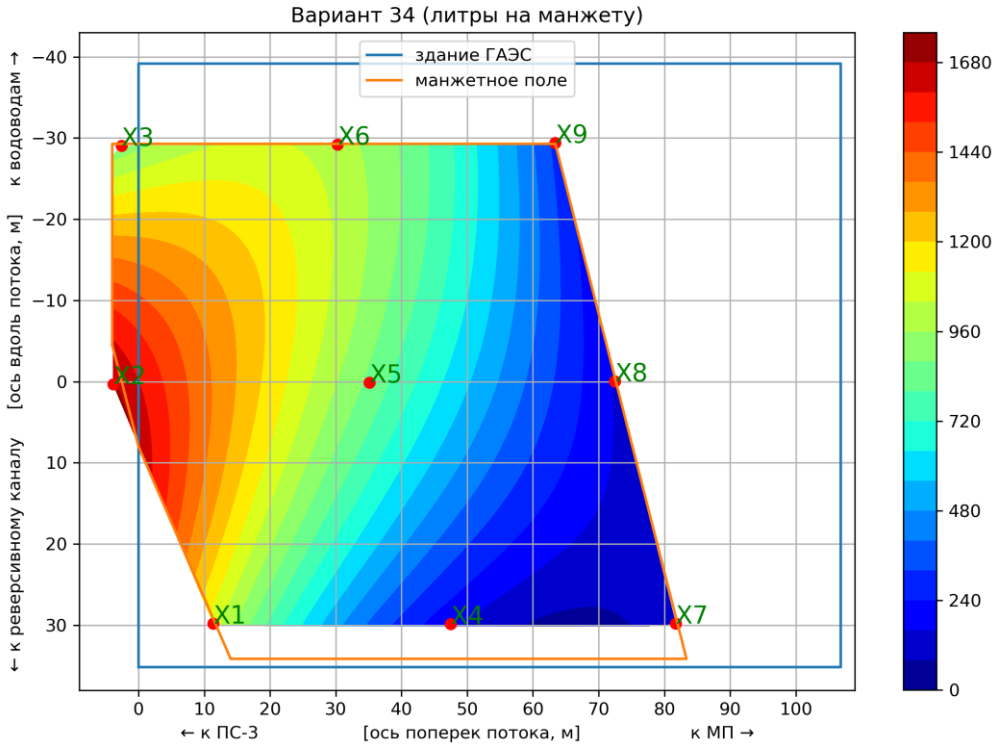


Рисунок Г.2.34.

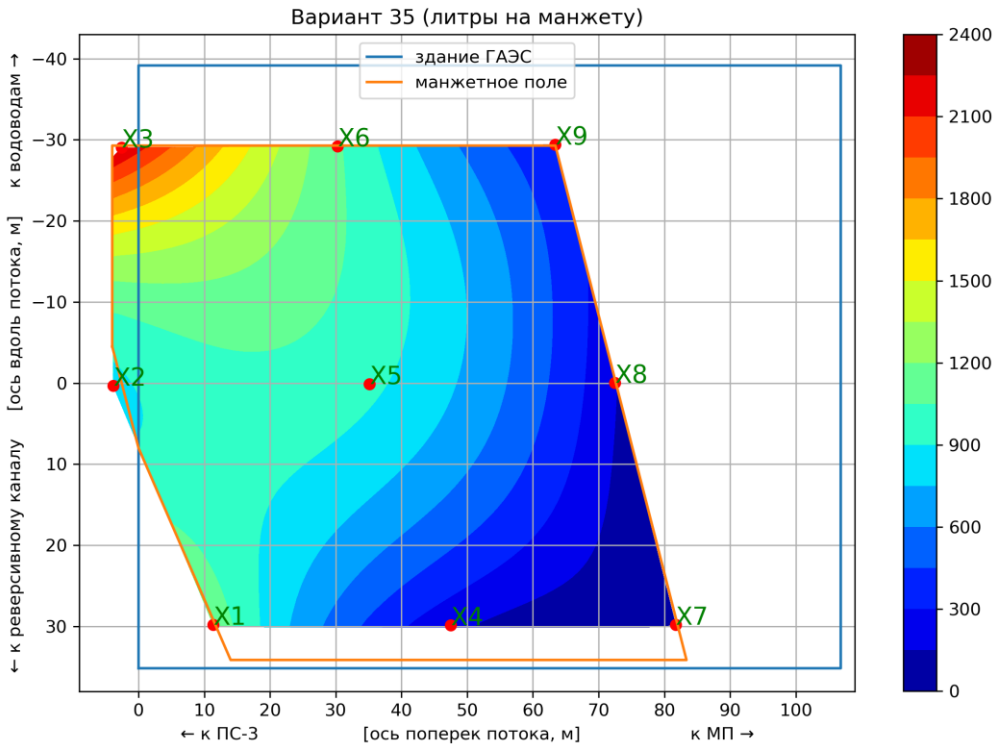


Рисунок Г.2.35.

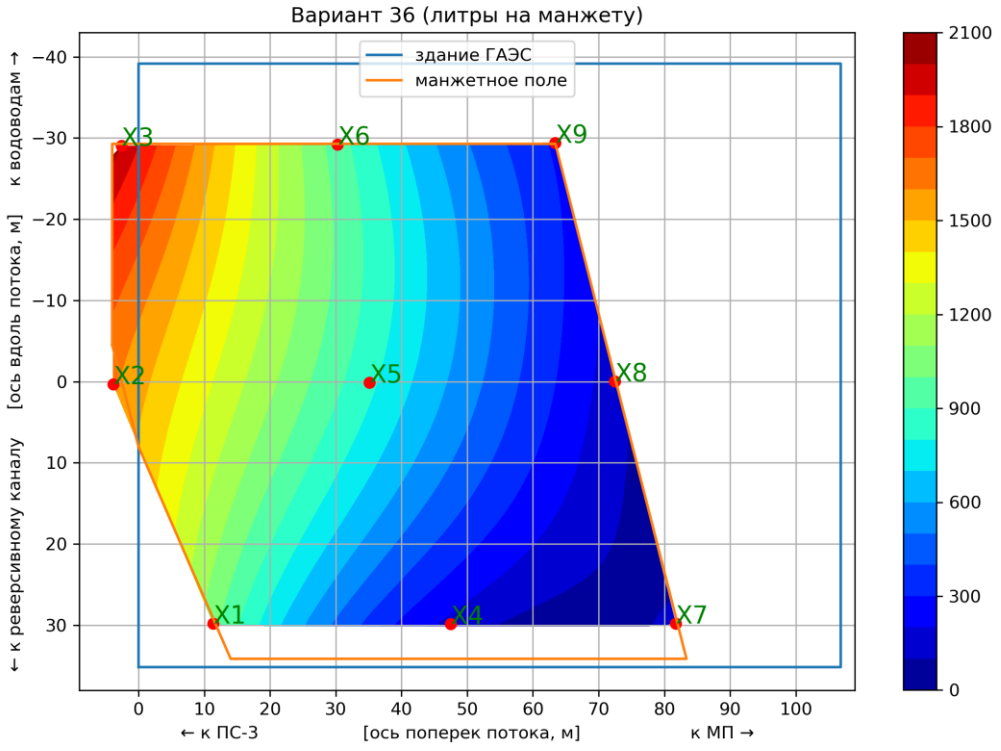


Рисунок Г.2.36.

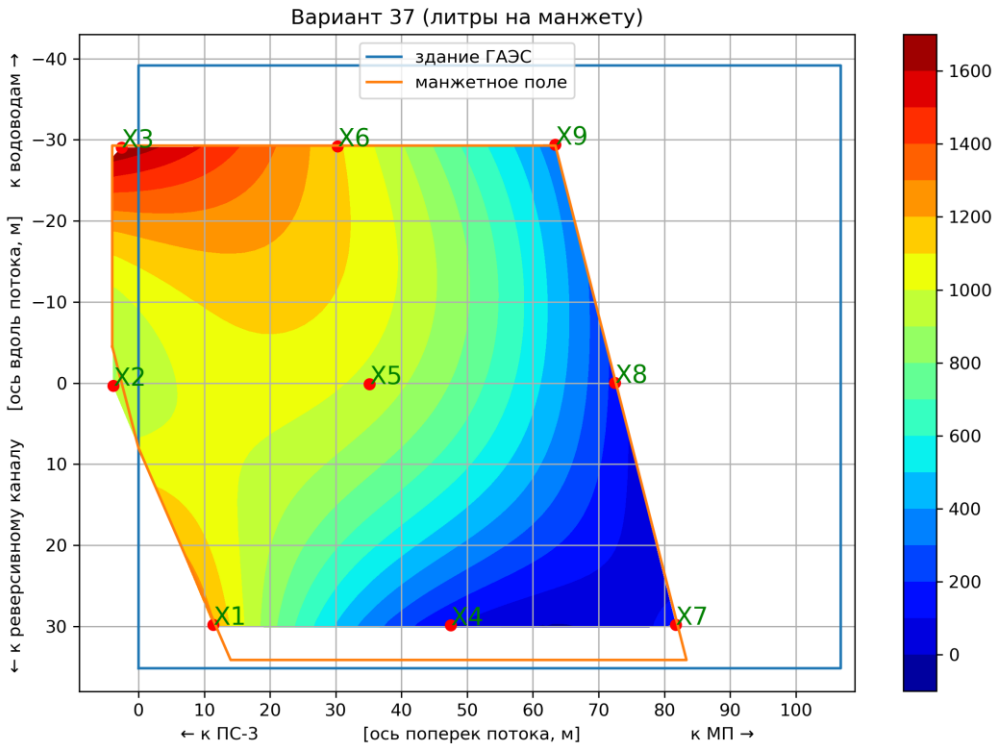


Рисунок Г.2.37.

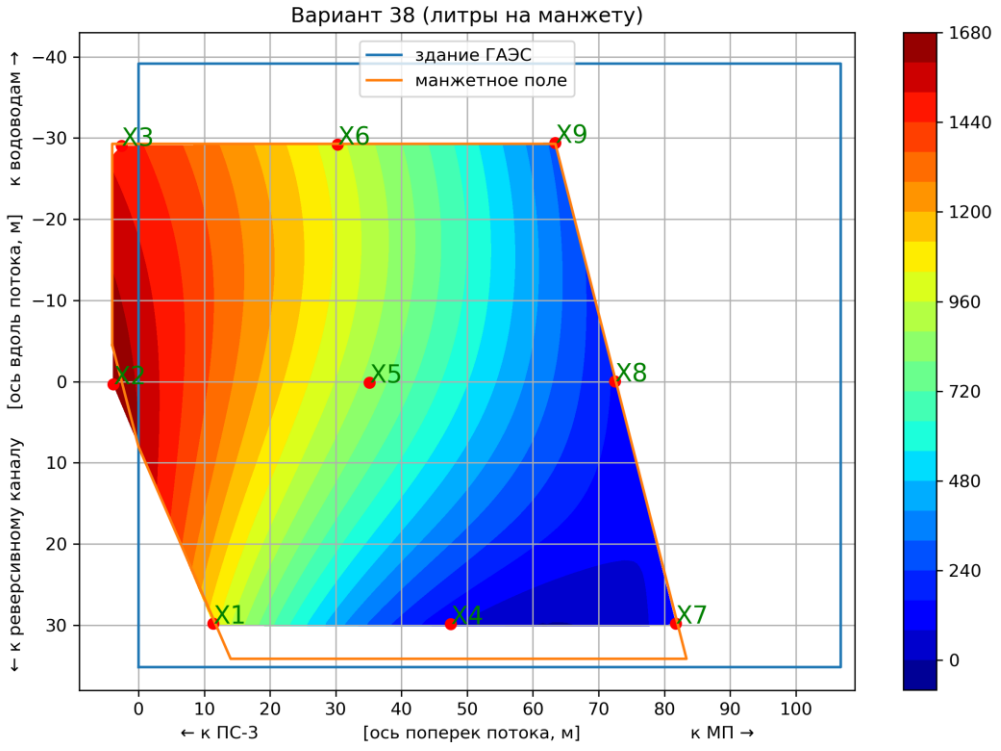


Рисунок Г.2.38.

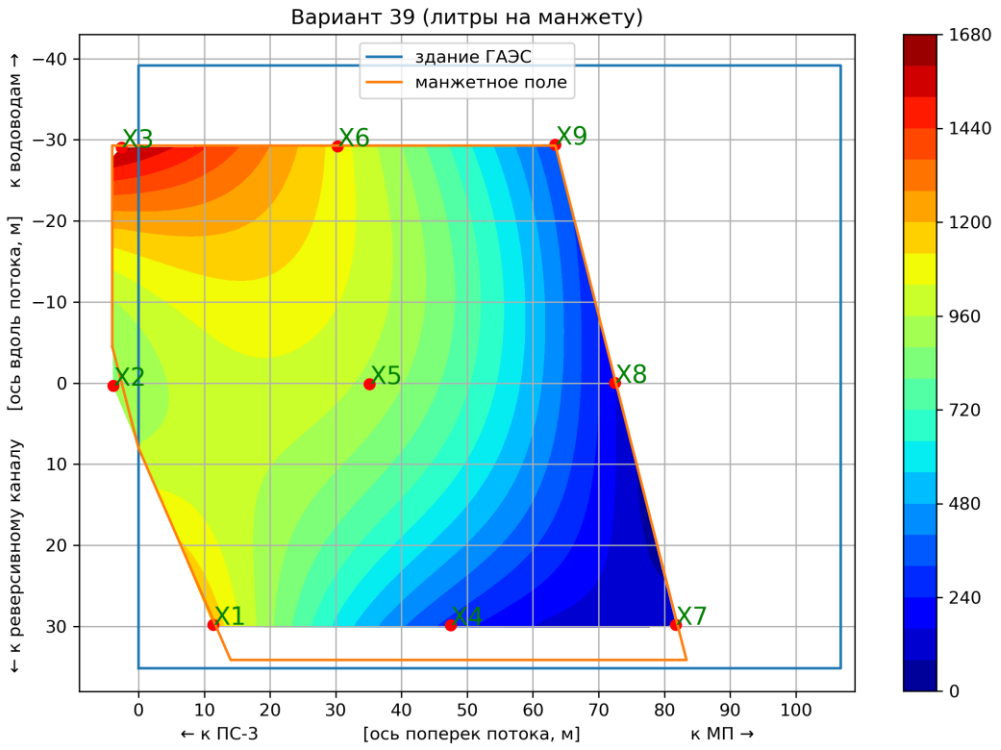


Рисунок Г.2.39.

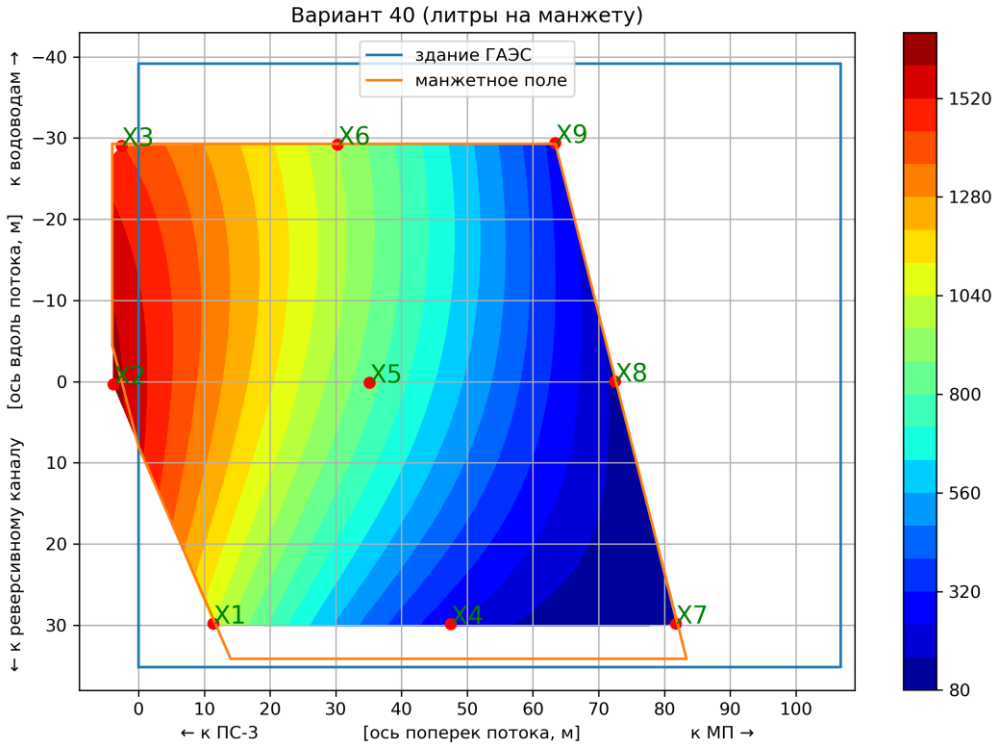


Рисунок Г.2.40.

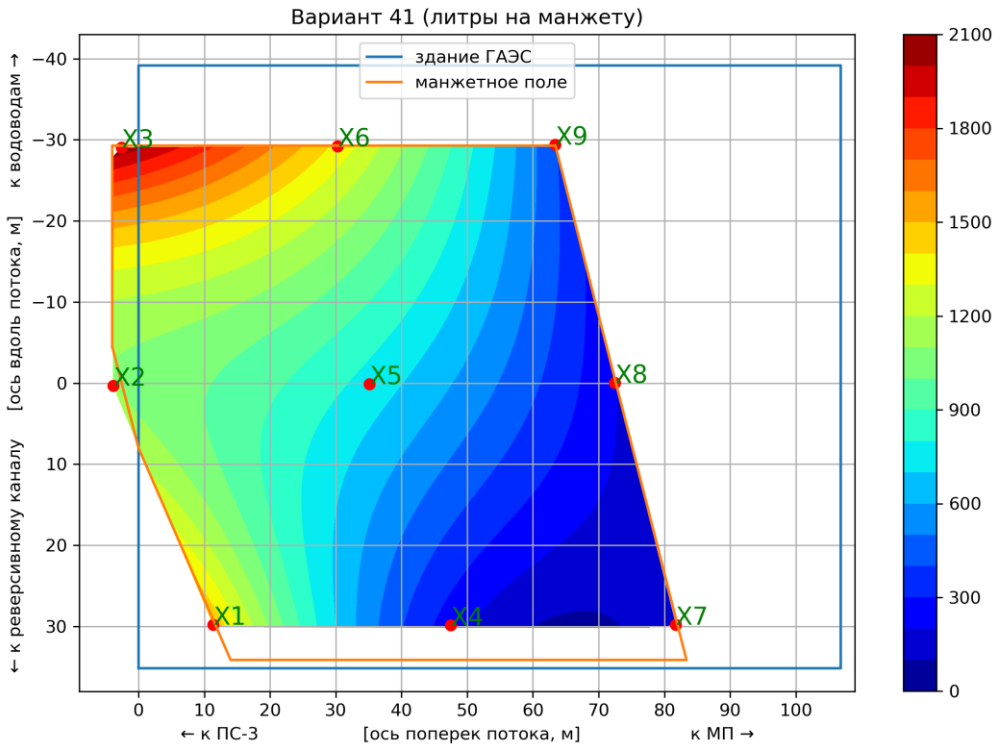


Рисунок Г.2.41.

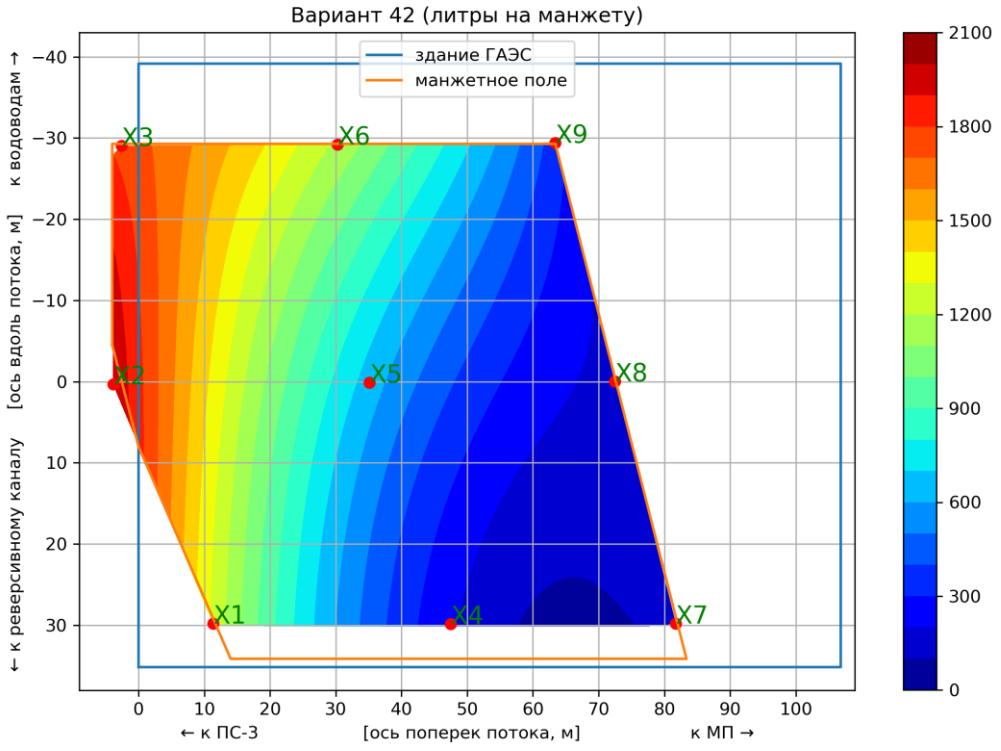


Рисунок Г.2.42.

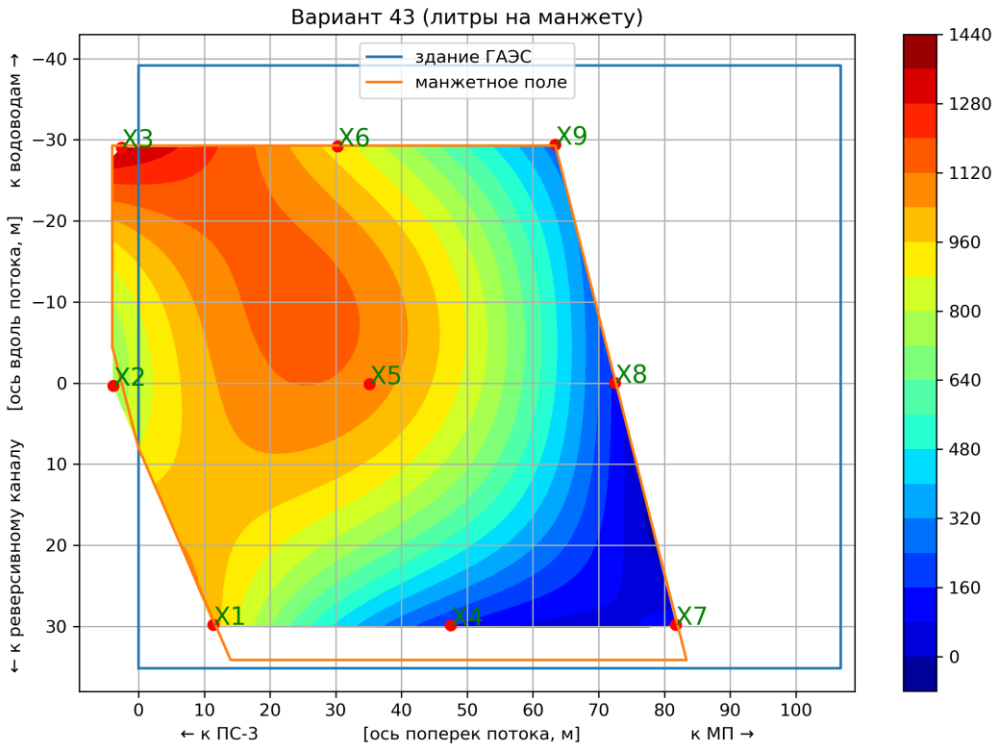


Рисунок Г.2.43.

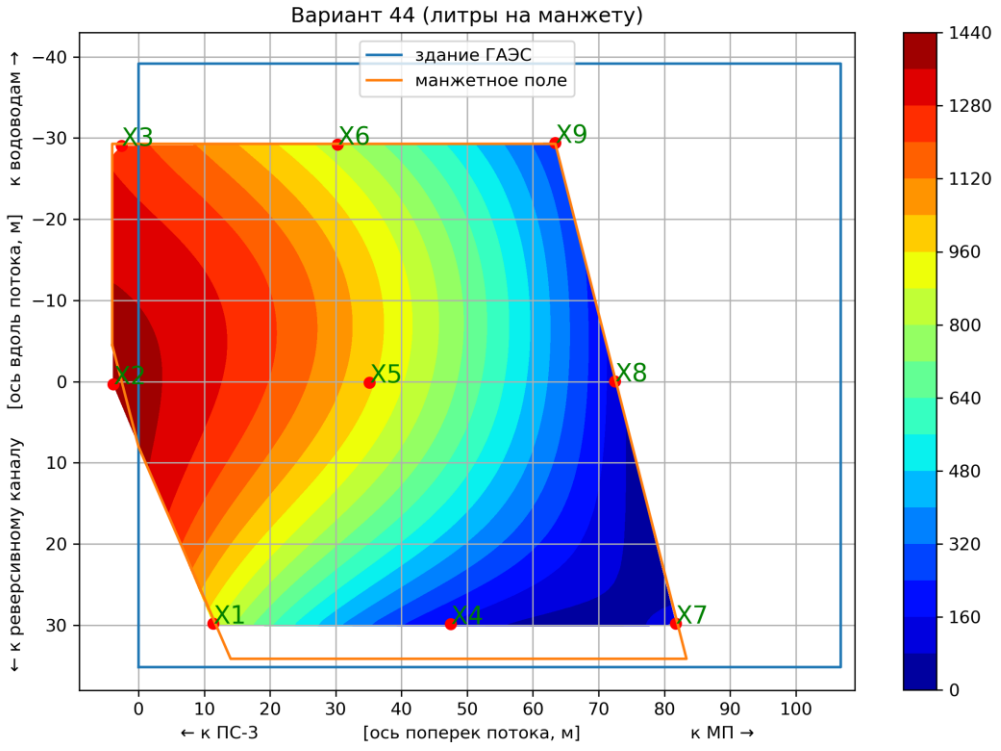


Рисунок Г.2.44.

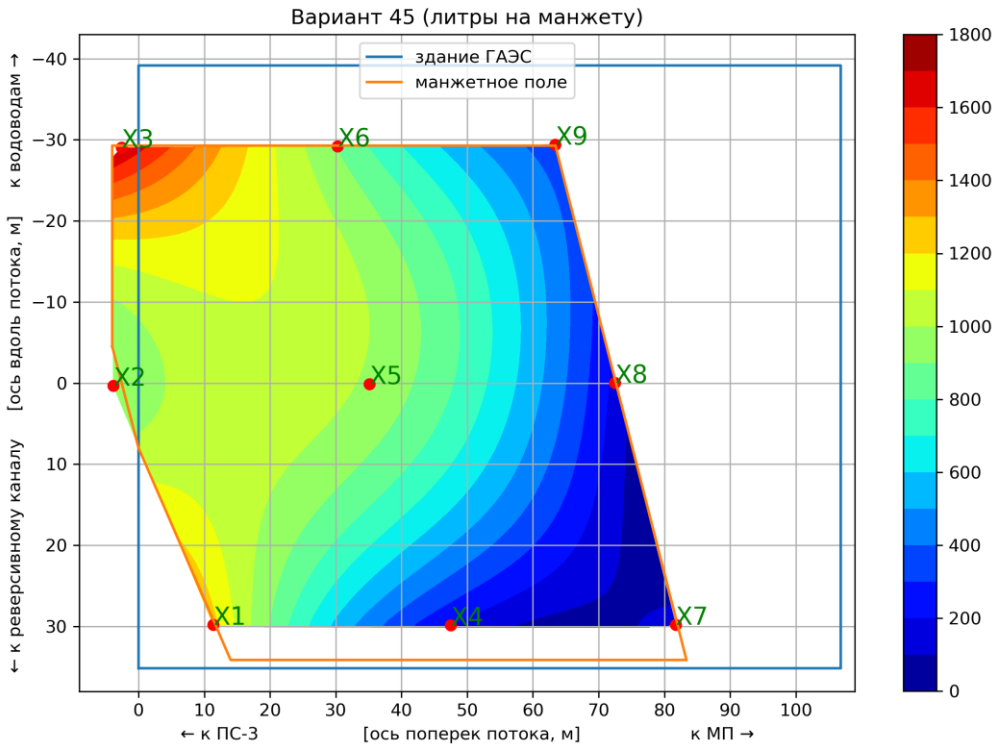


Рисунок Г.2.45.

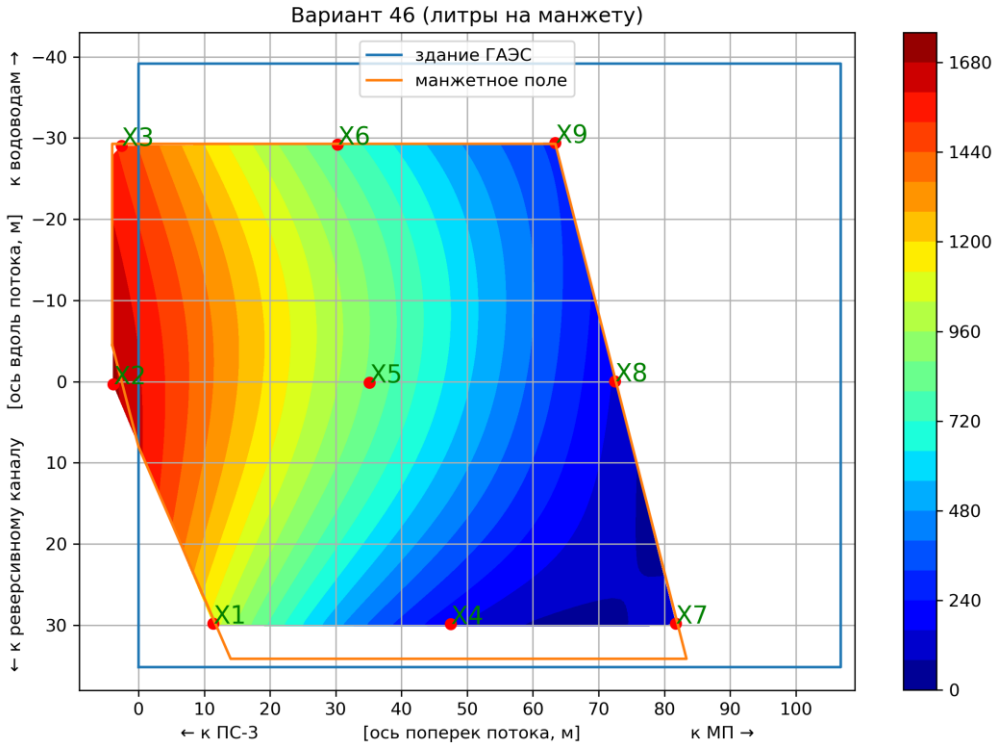


Рисунок Г.2.46.

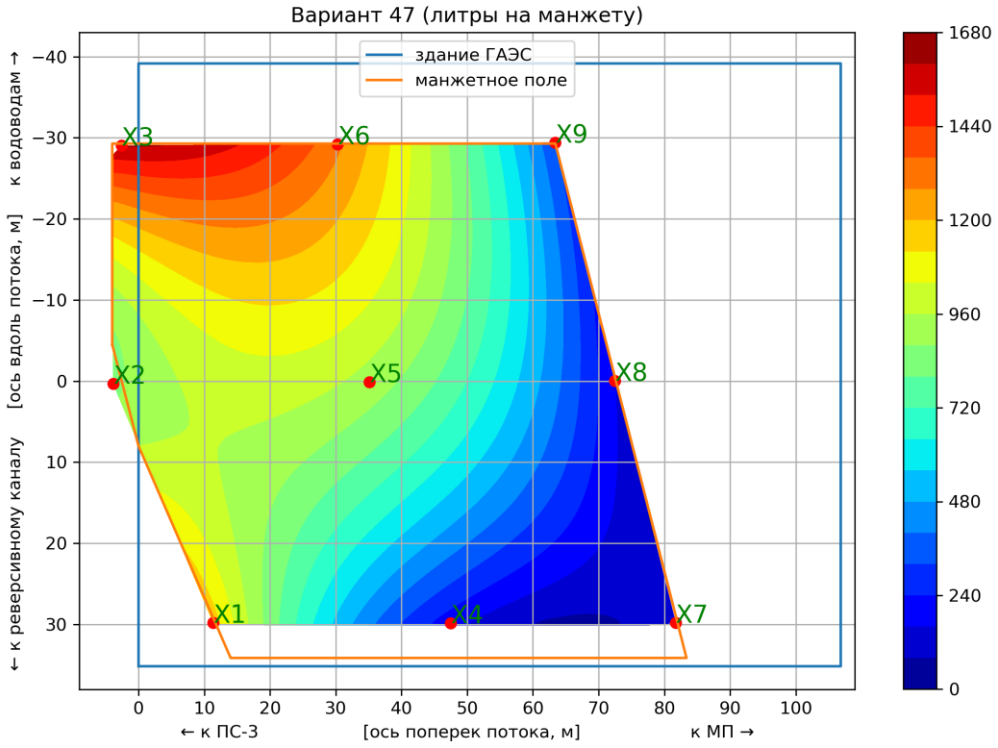


Рисунок Г.2.47.

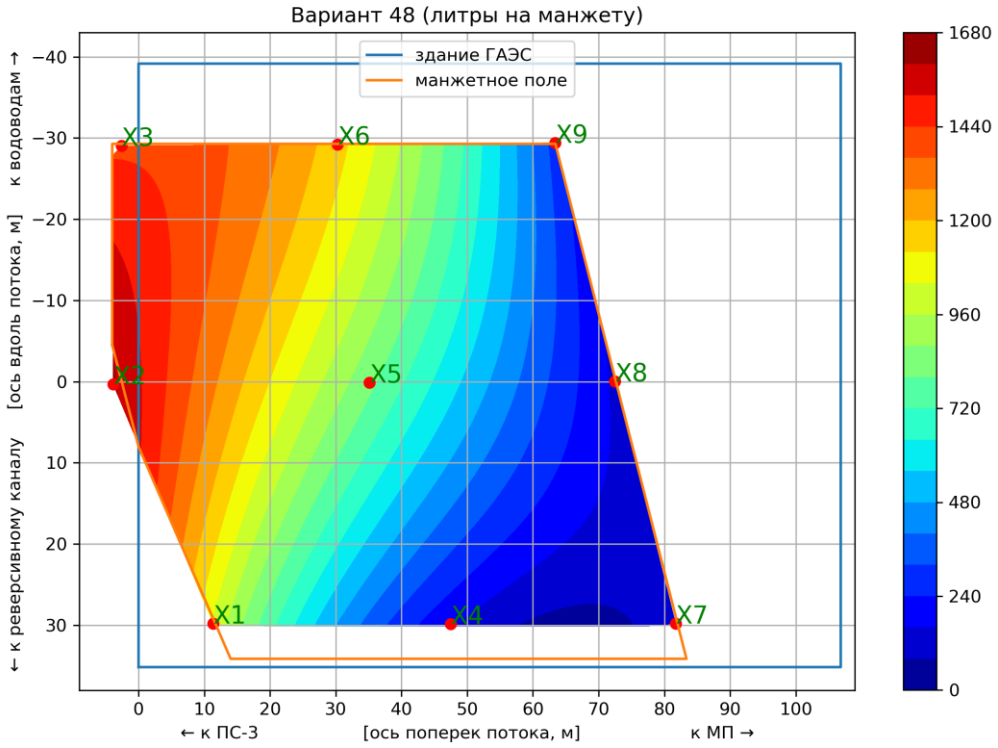


Рисунок Г.2.48.

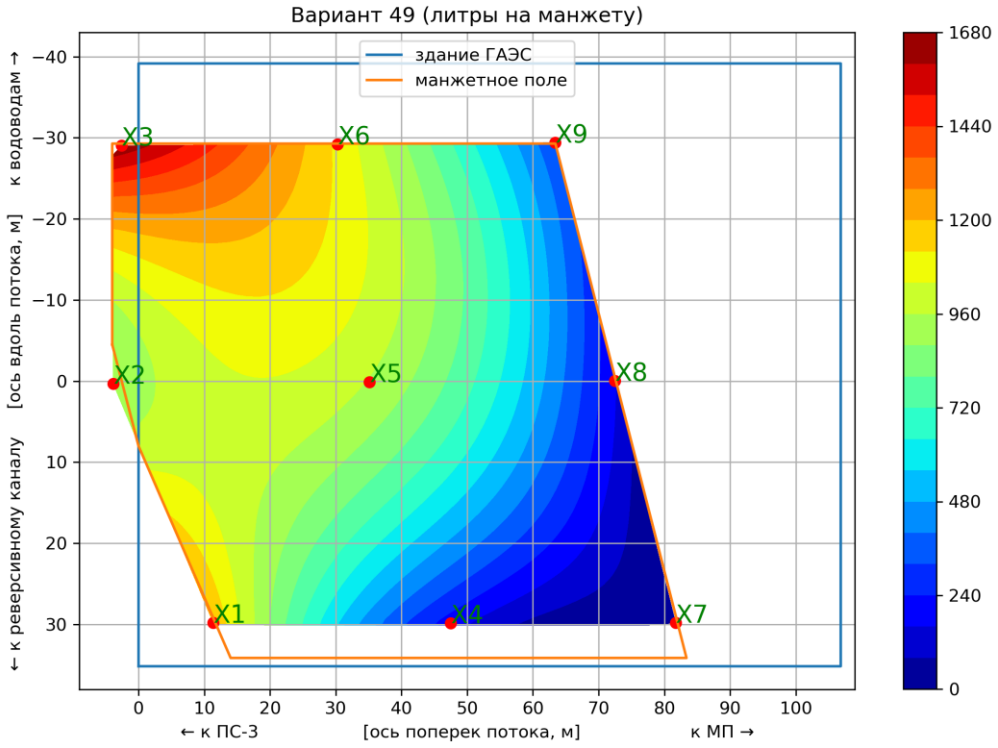


Рисунок Г.2.49.

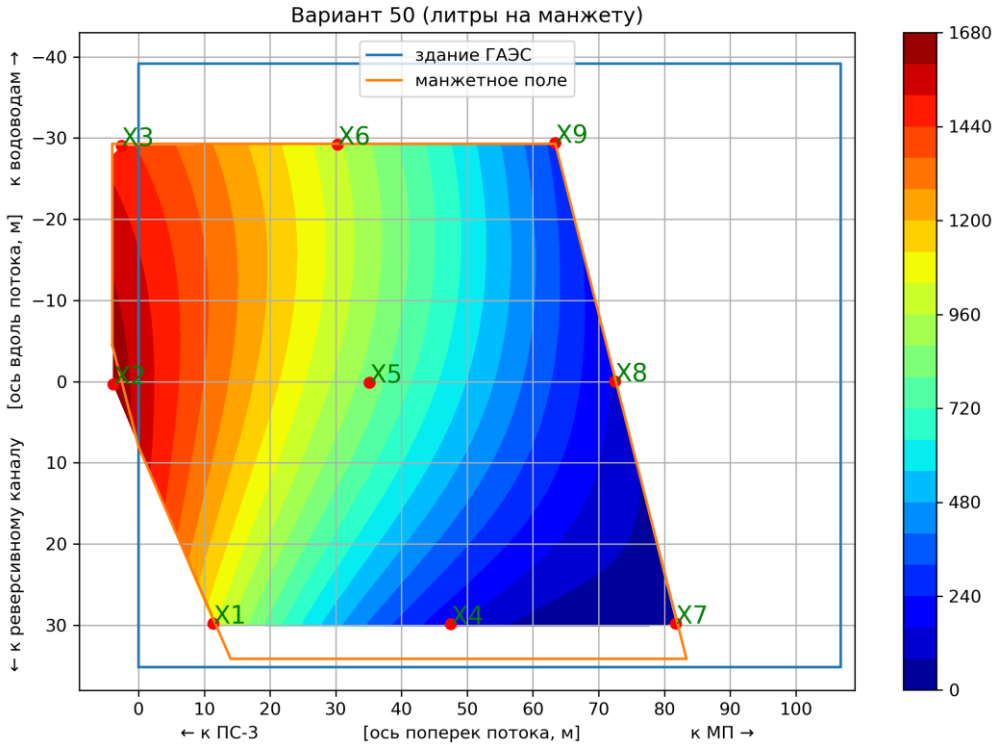


Рисунок Г.2.50.

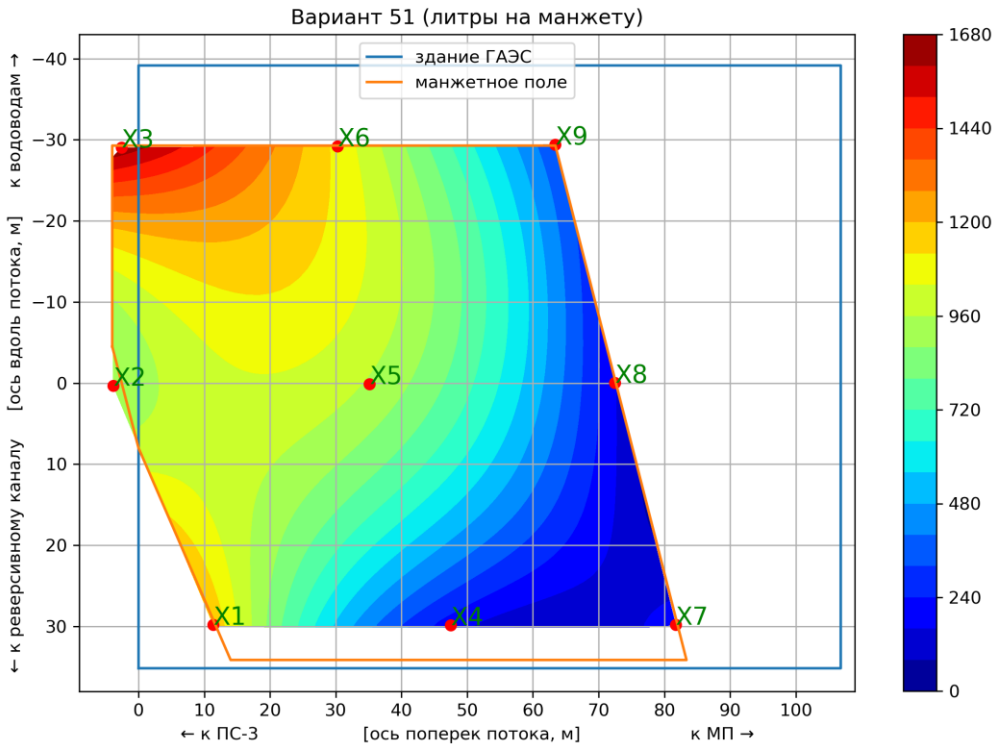


Рисунок Г.2.51.

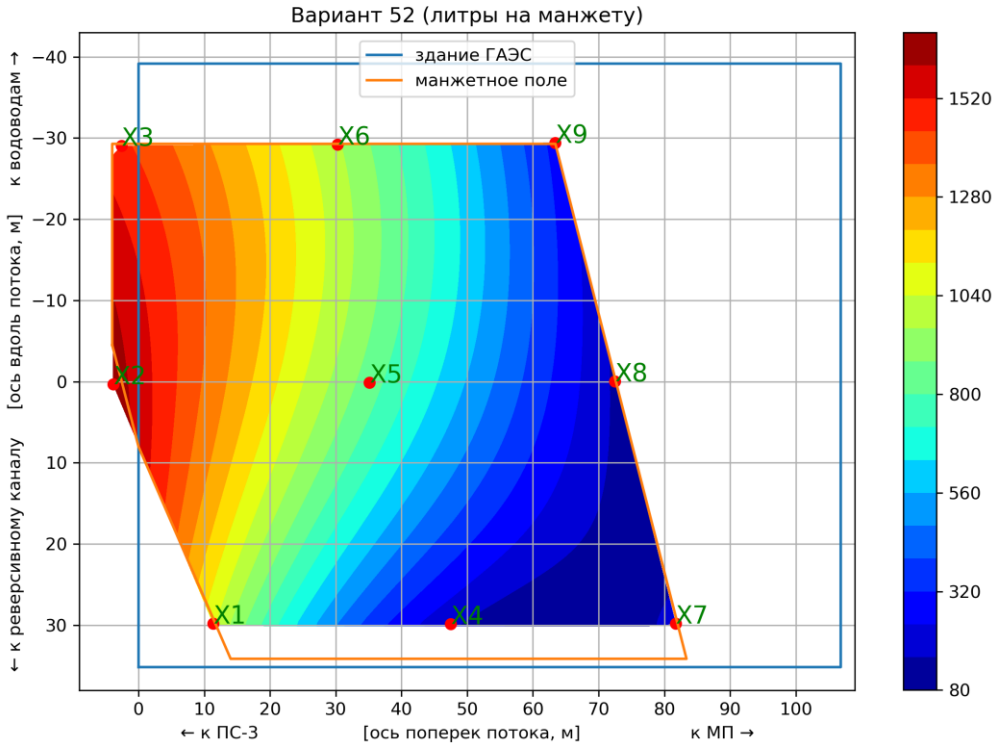


Рисунок Г.2.52.

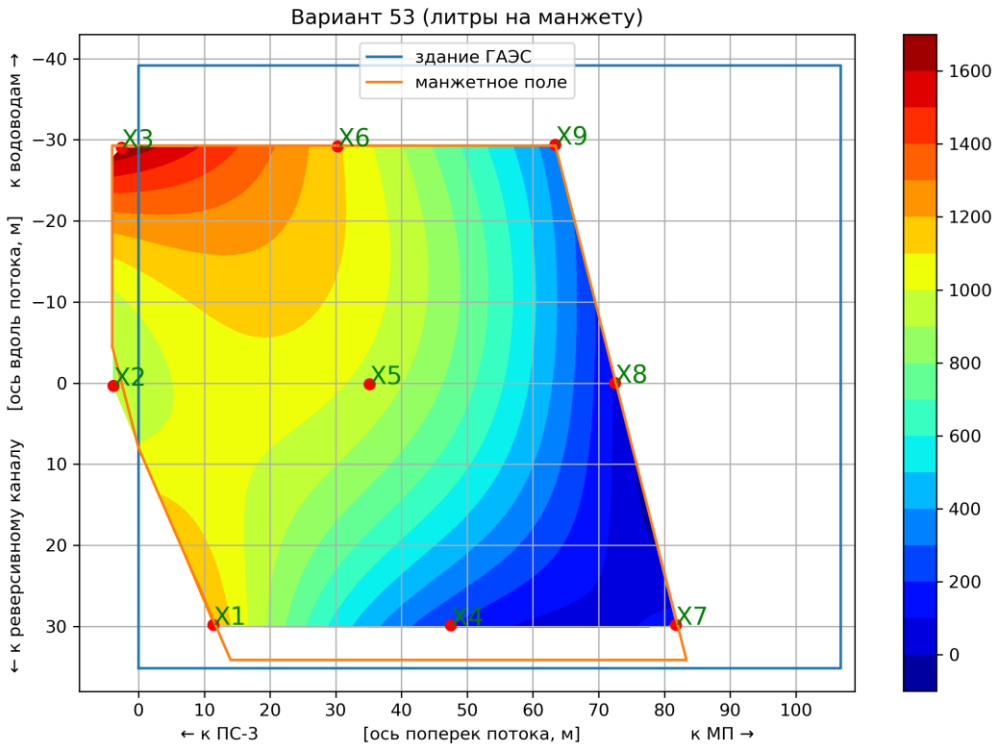


Рисунок Г.2.53.

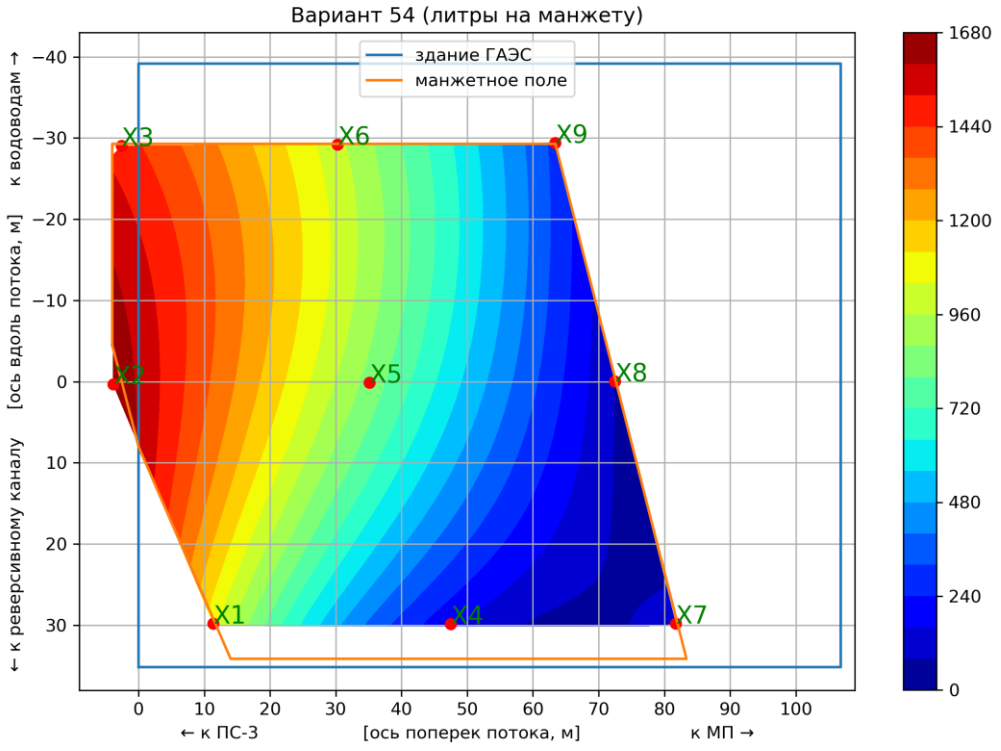


Рисунок Г.2.54.

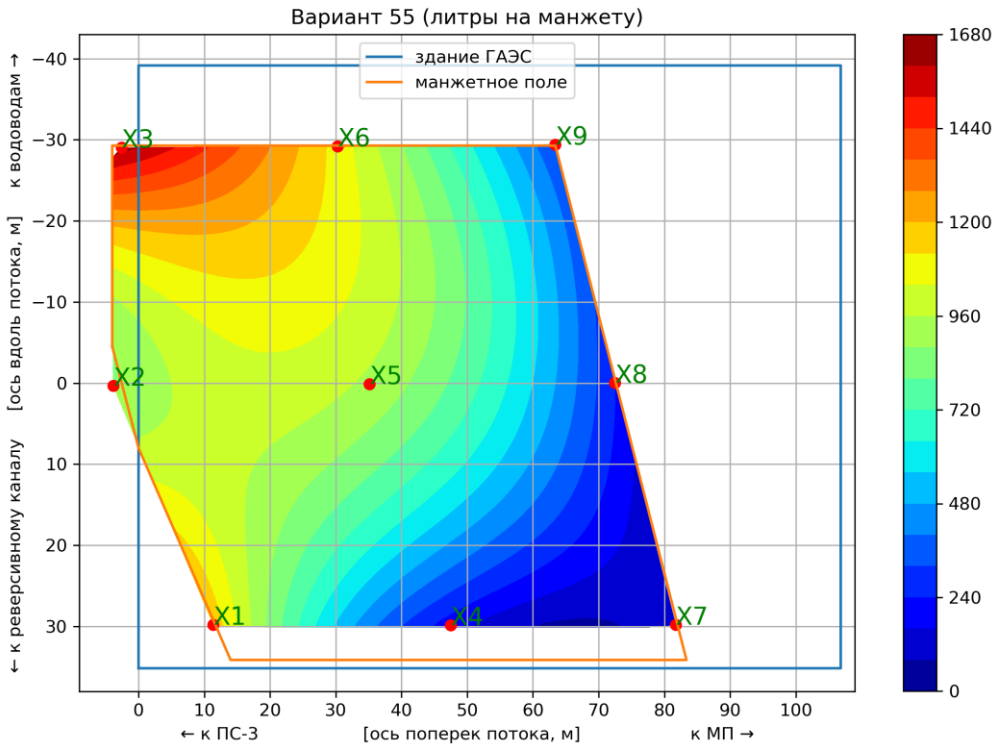


Рисунок Г.2.55.

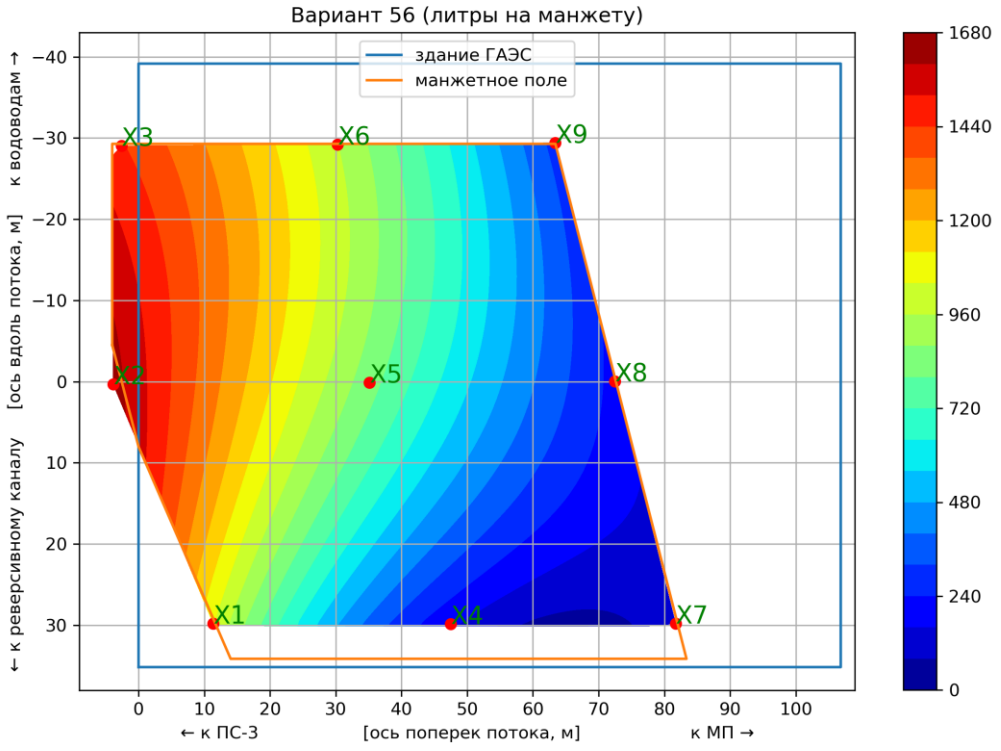


Рисунок Г.2.56.

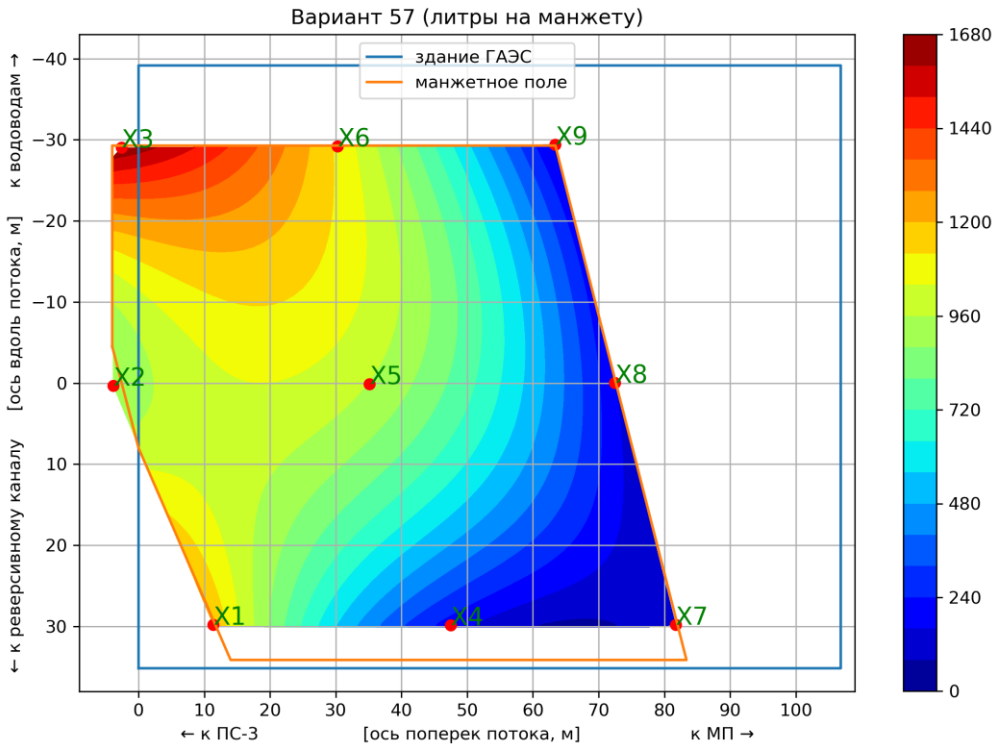


Рисунок Г.2.57.

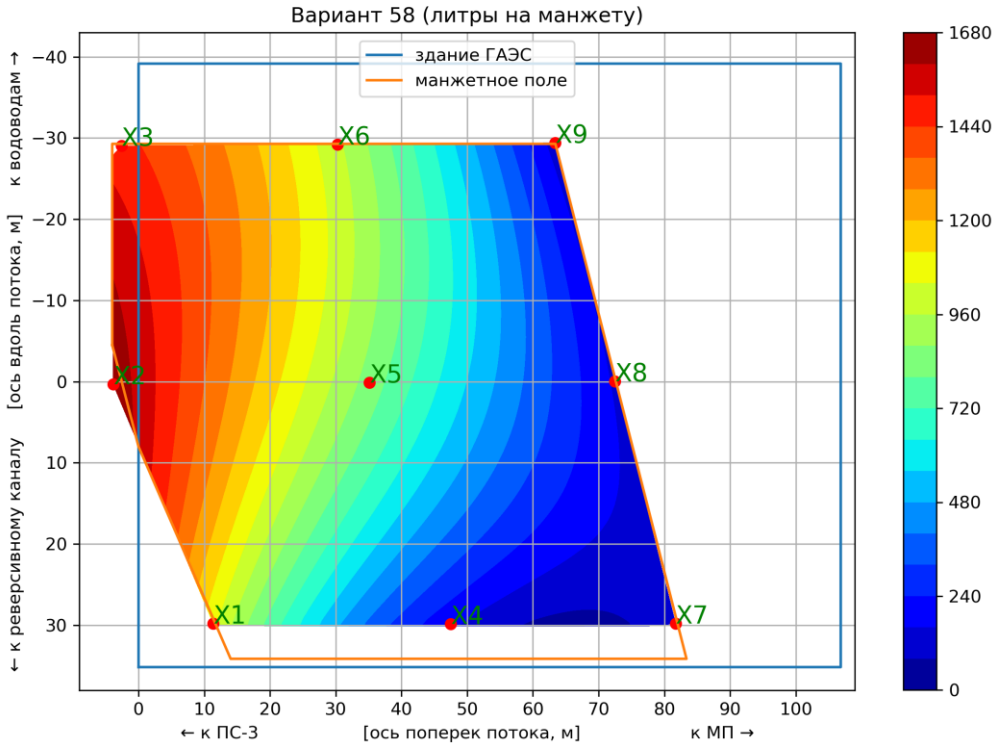


Рисунок Г.2.58.

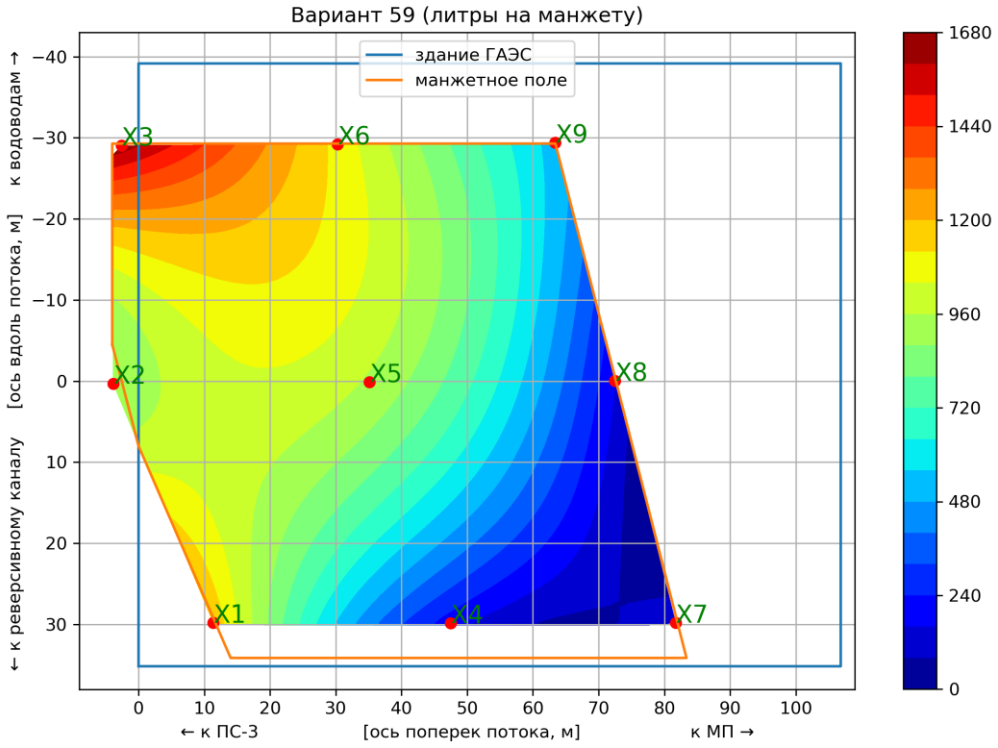


Рисунок Г.2.59.

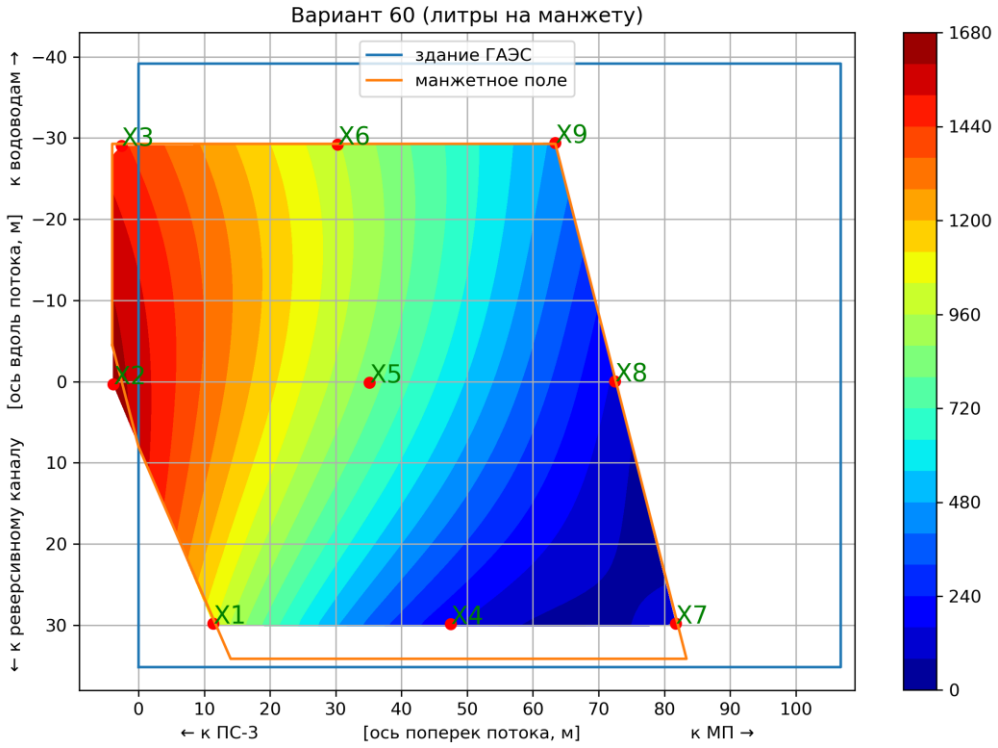


Рисунок Г.2.60.

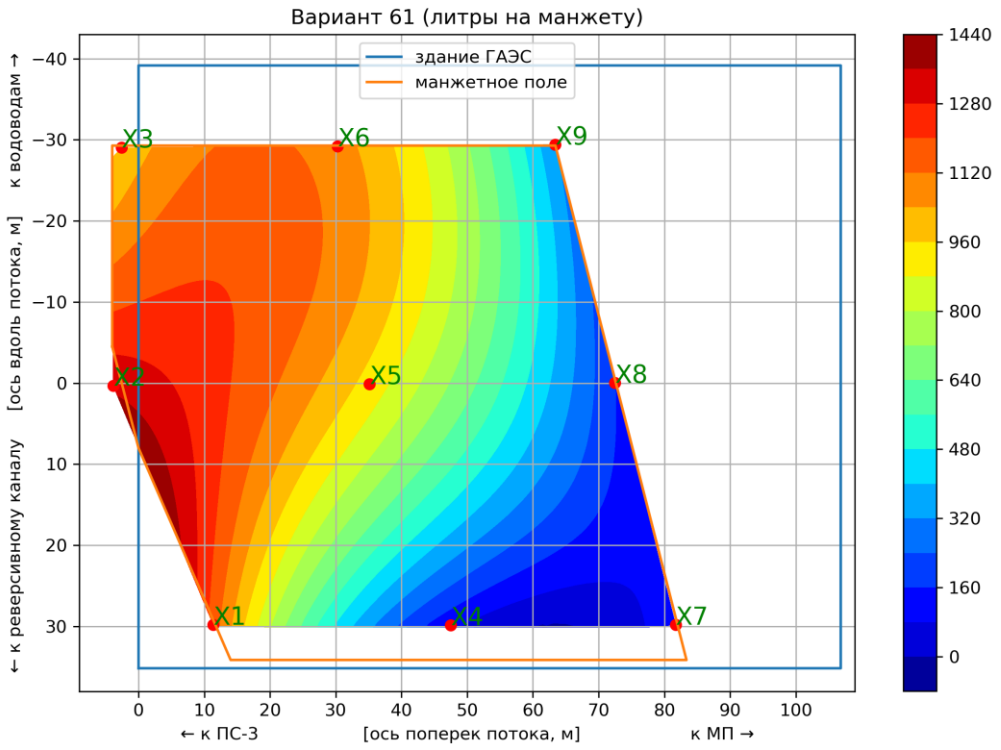


Рисунок Г.2.61.

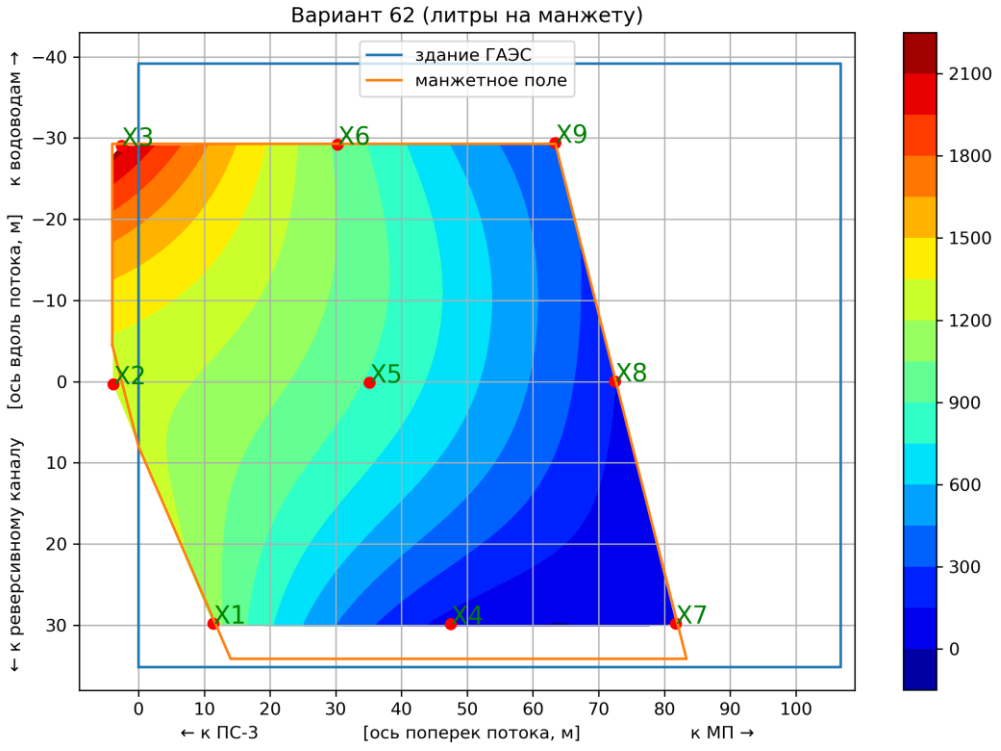


Рисунок Г.2.62.

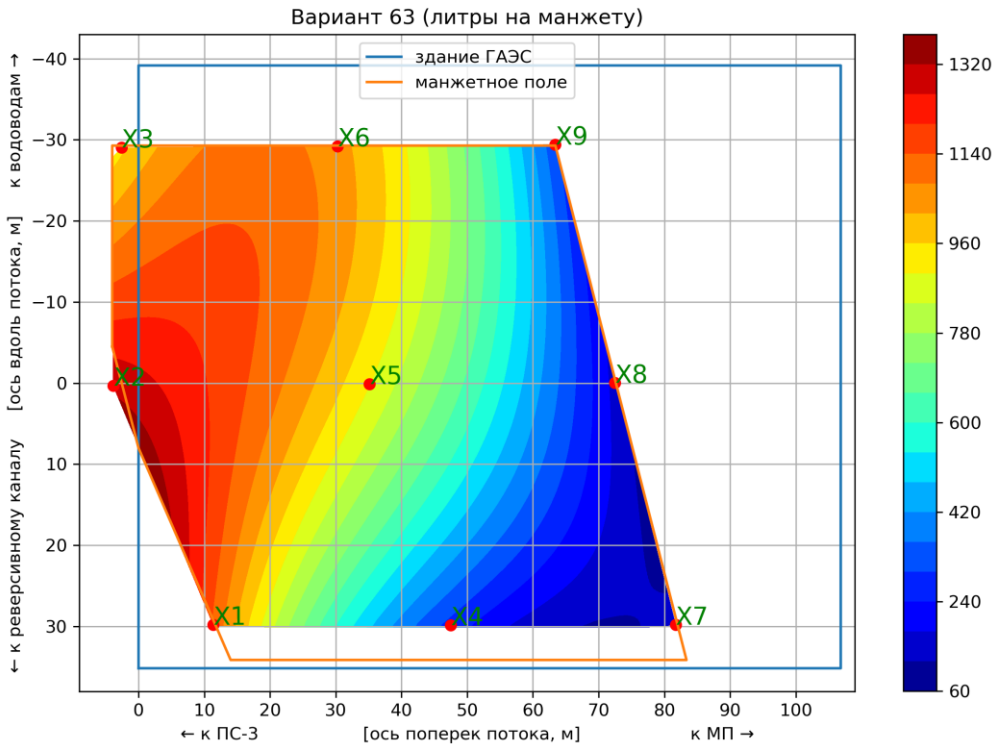


Рисунок Г.2.63.

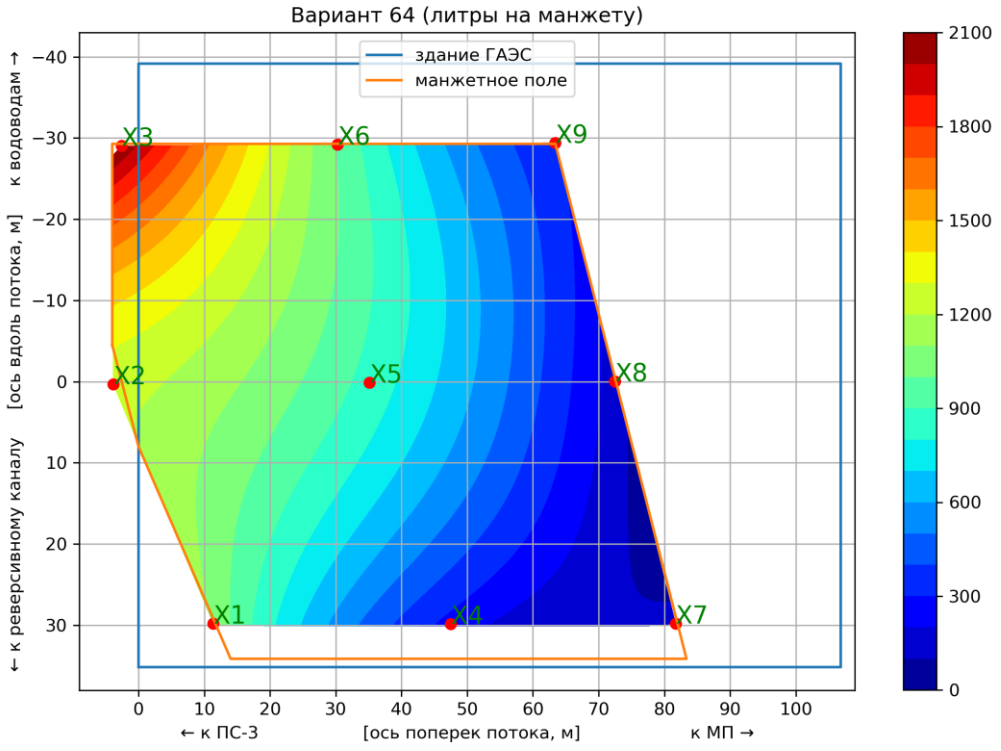


Рисунок Г.2.64.

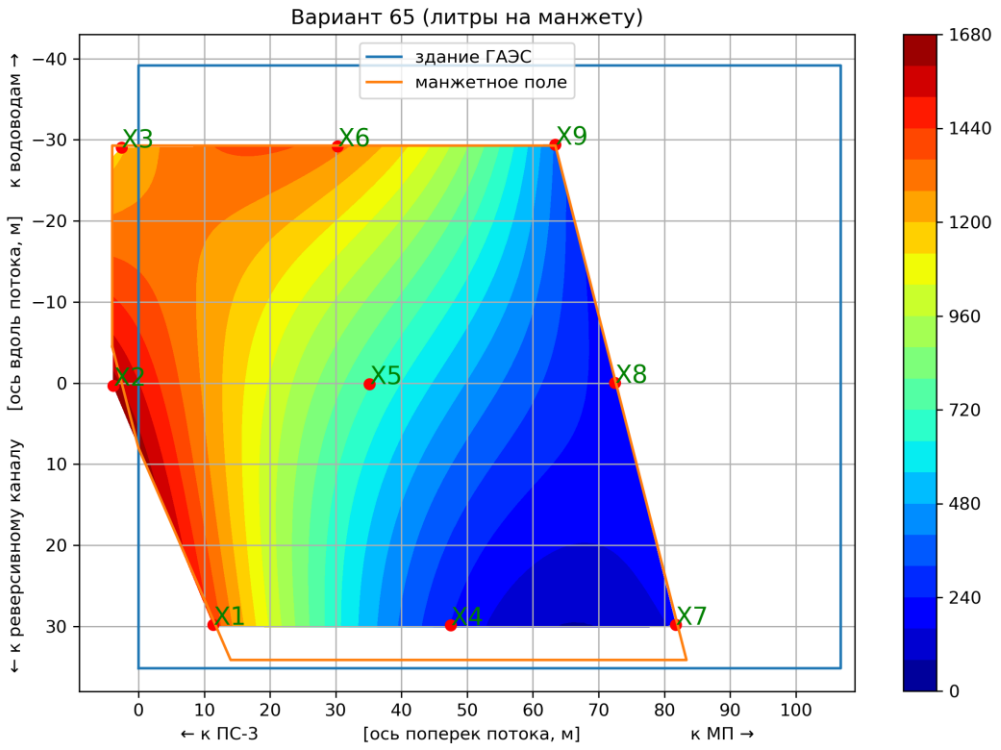


Рисунок Г.2.65.

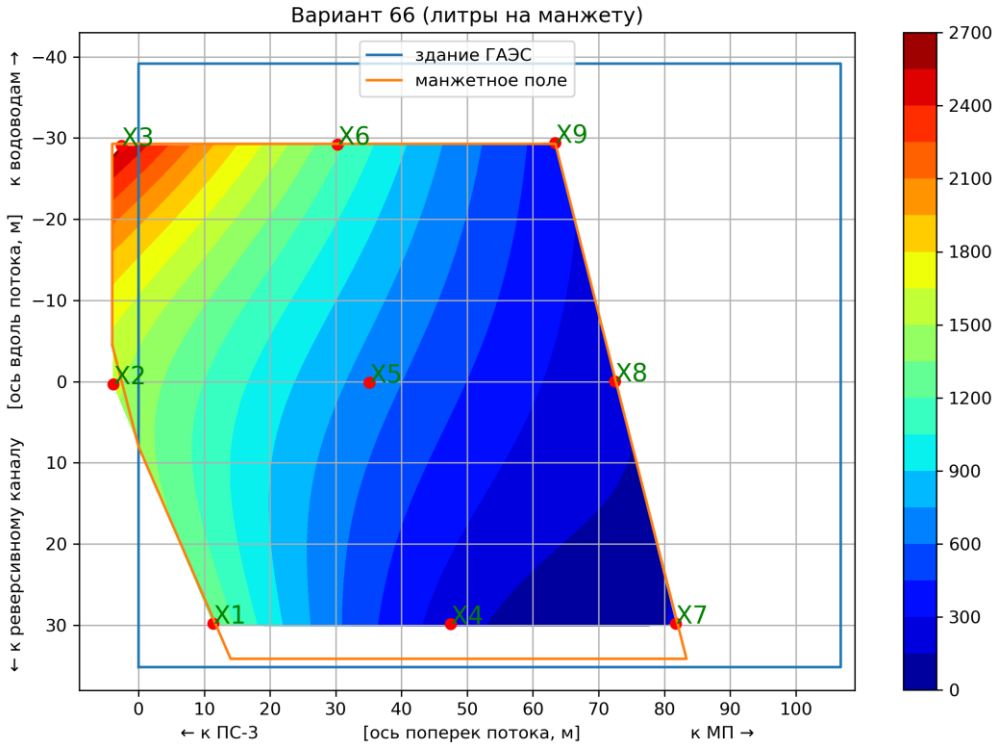


Рисунок Г.2.66.

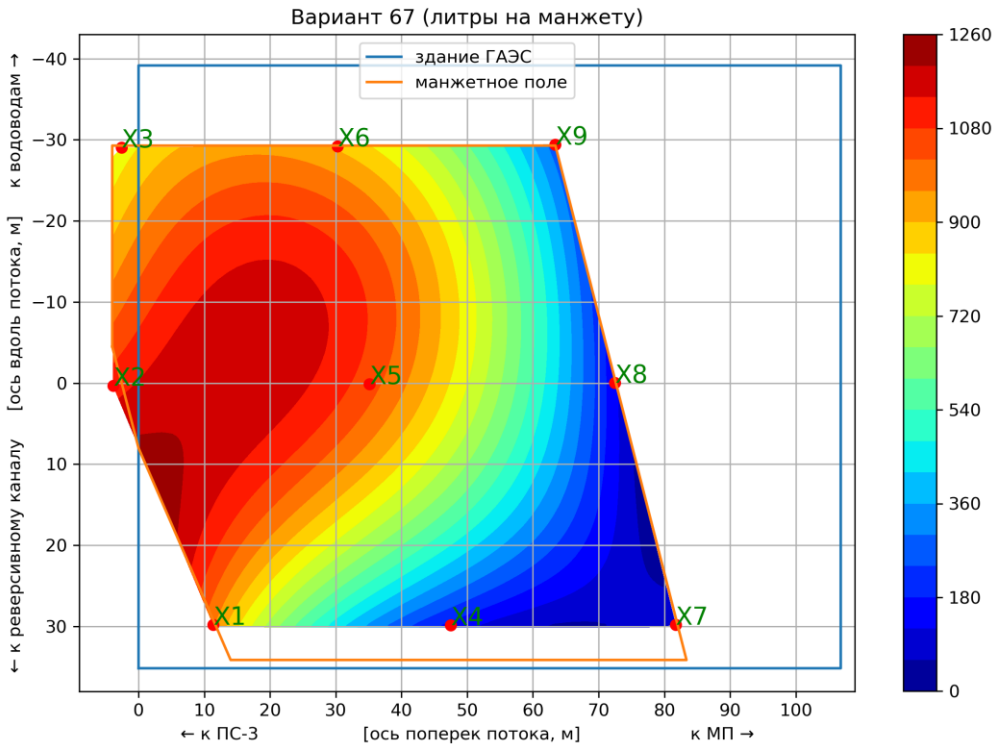


Рисунок Г.2.67.

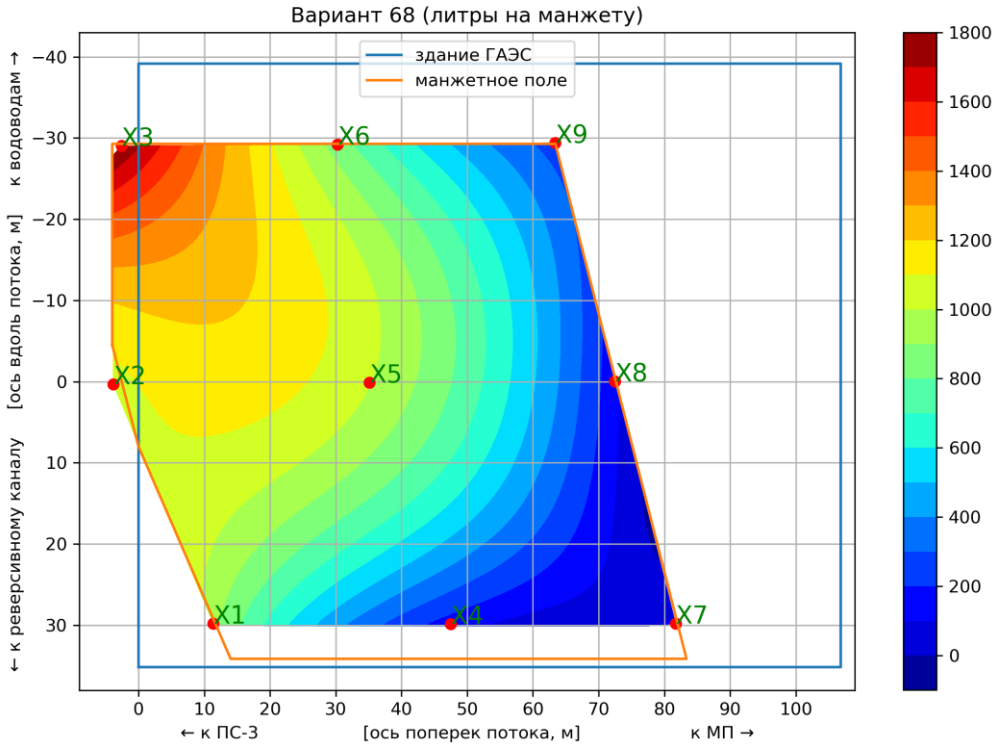


Рисунок Г.2.68.

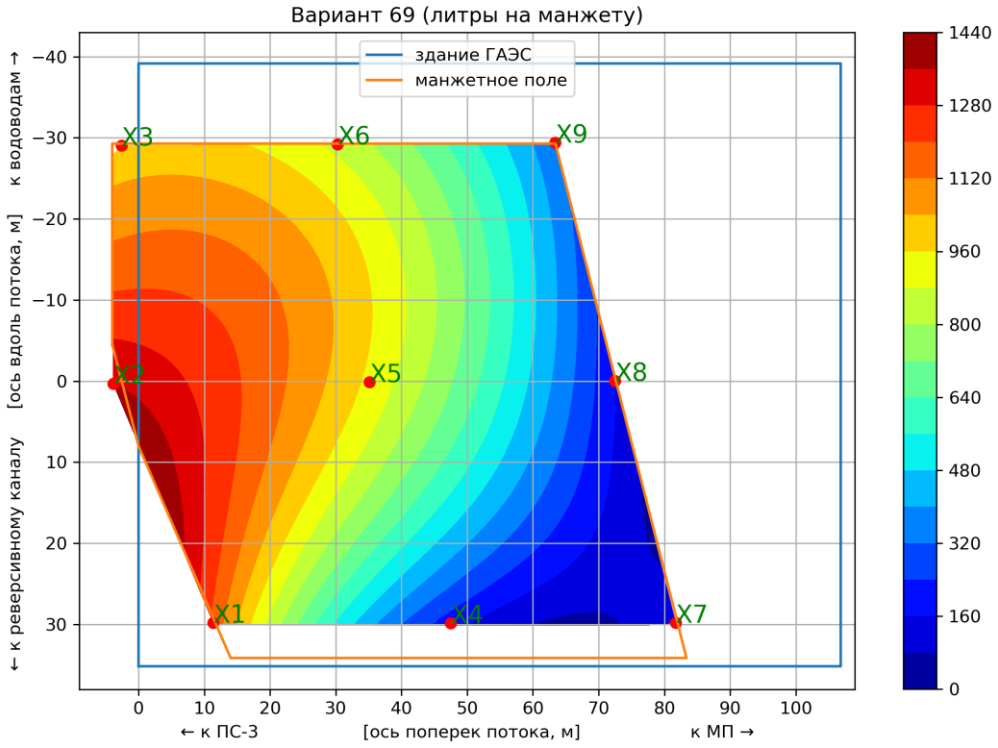


Рисунок Г.2.69.

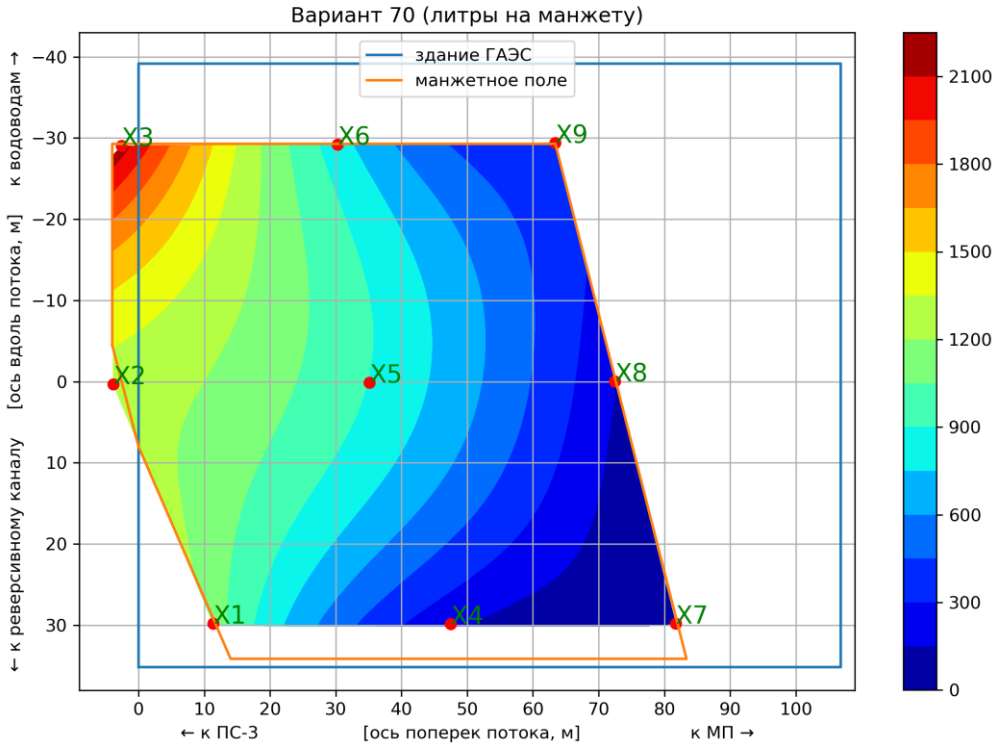


Рисунок Г.2.70.

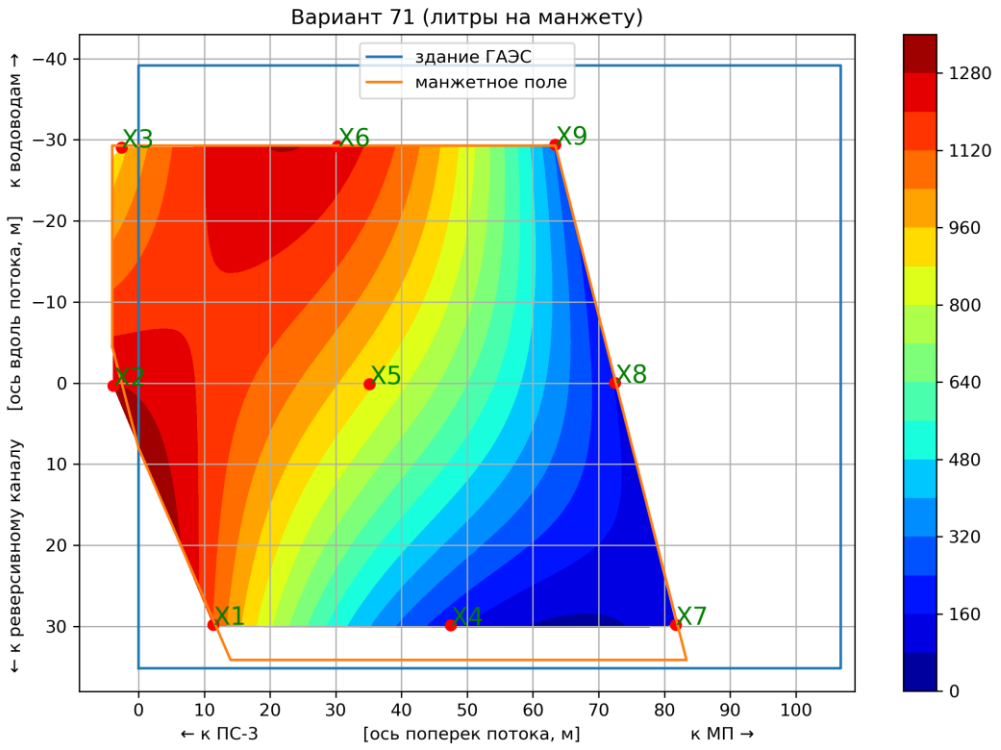


Рисунок Г.2.71.

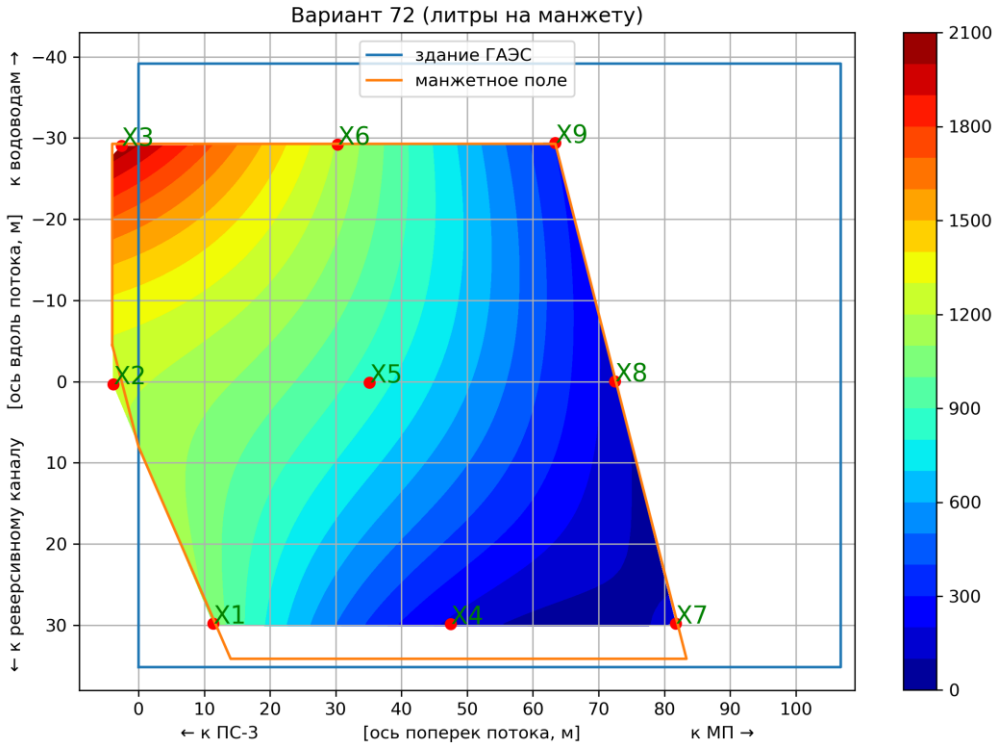


Рисунок Г.2.72.

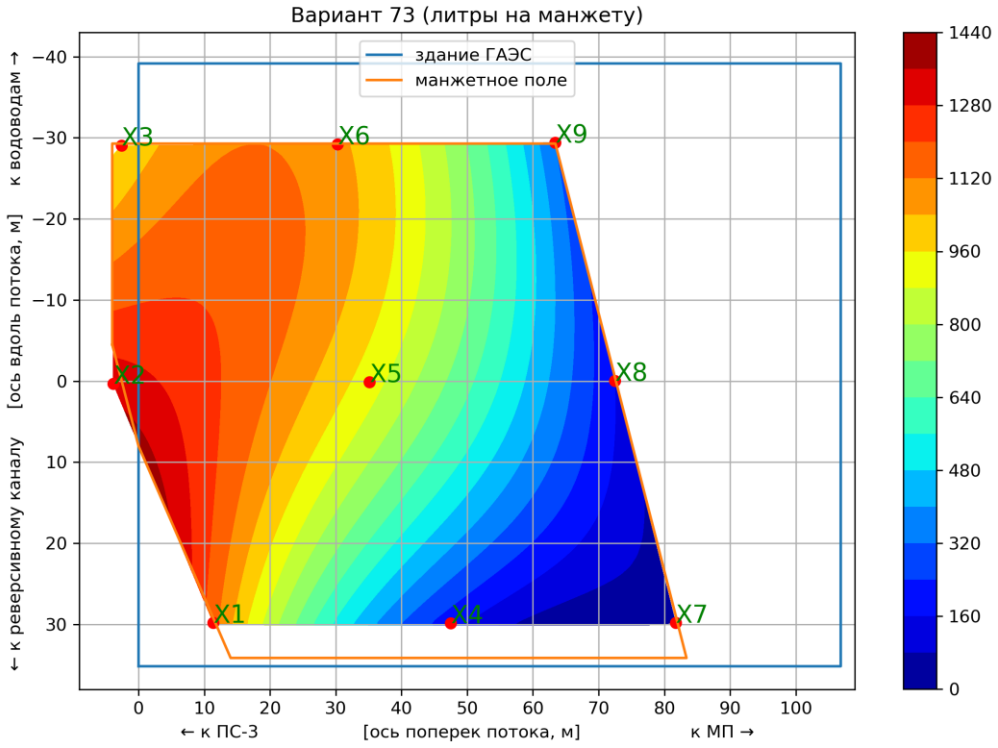


Рисунок Г.2.73.

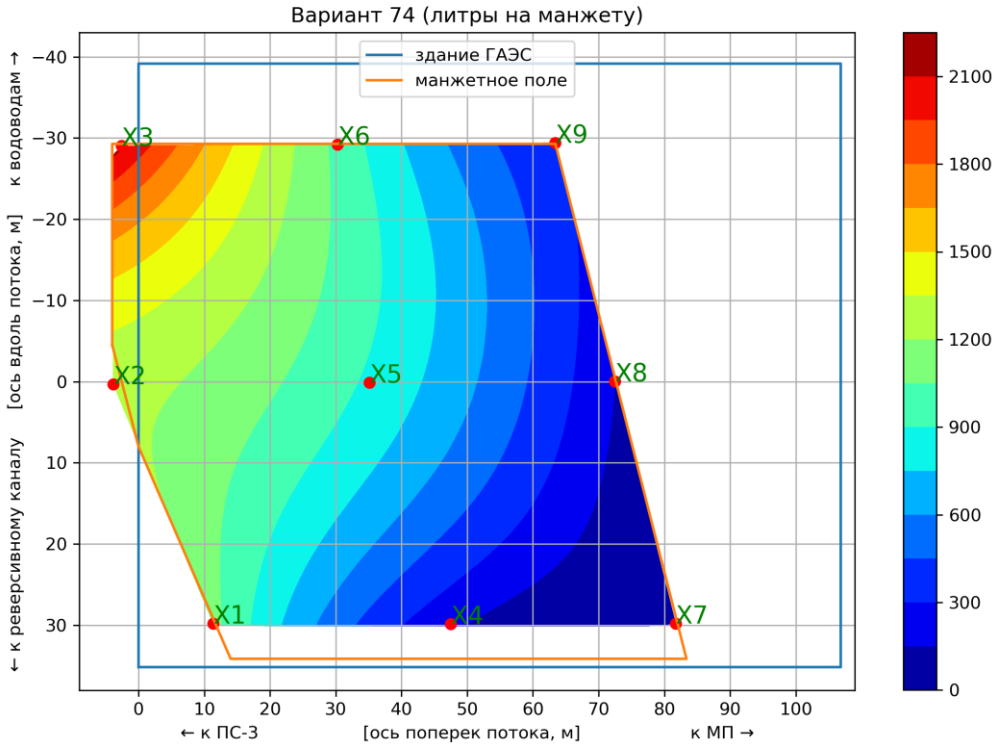


Рисунок Г.2.74.

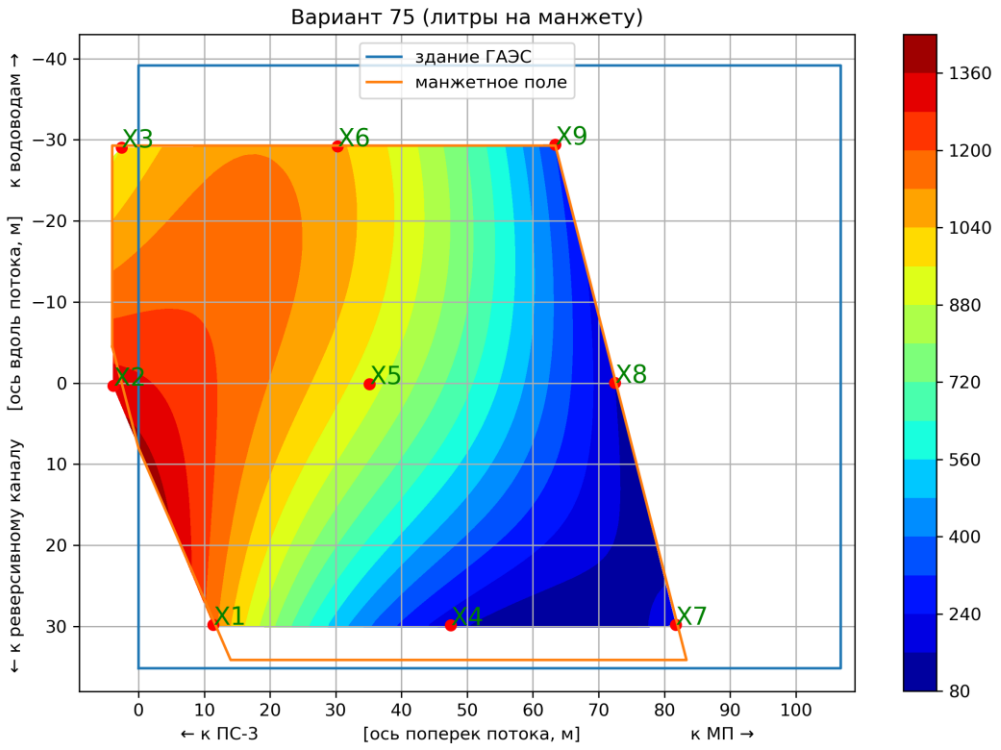


Рисунок Г.2.75.

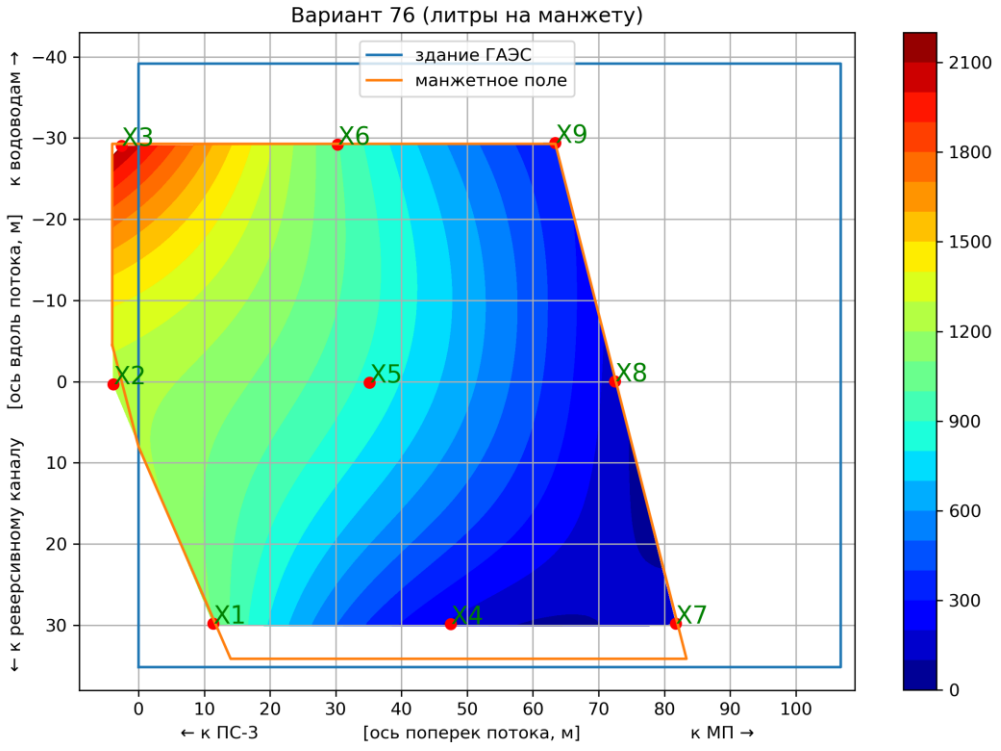


Рисунок Г.2.76.

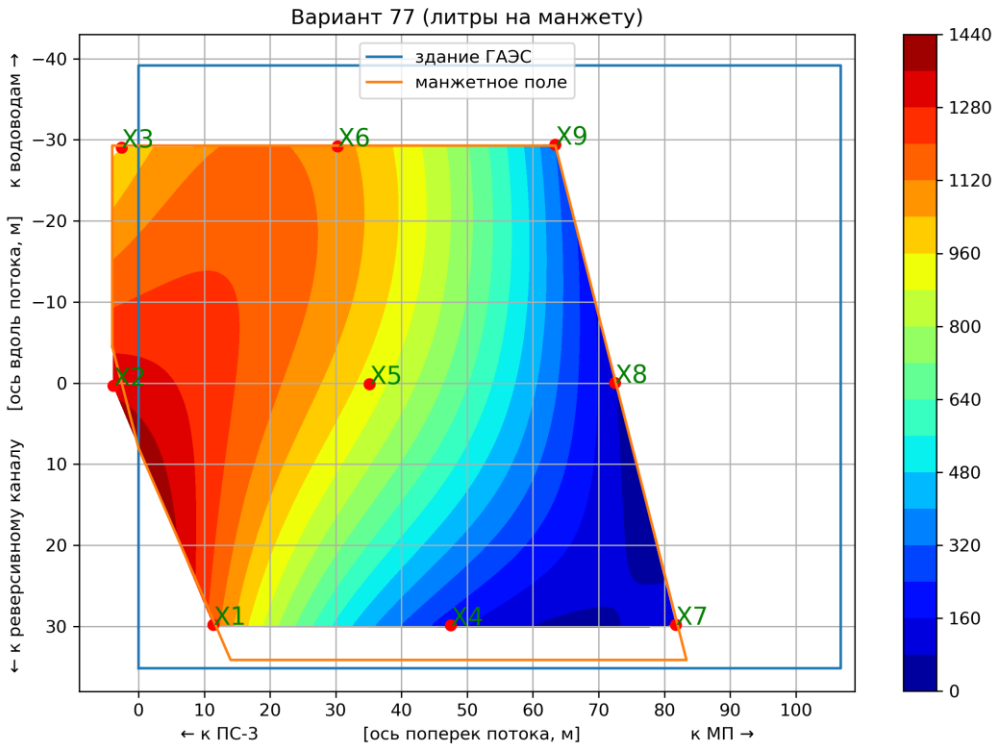


Рисунок Г.2.77.

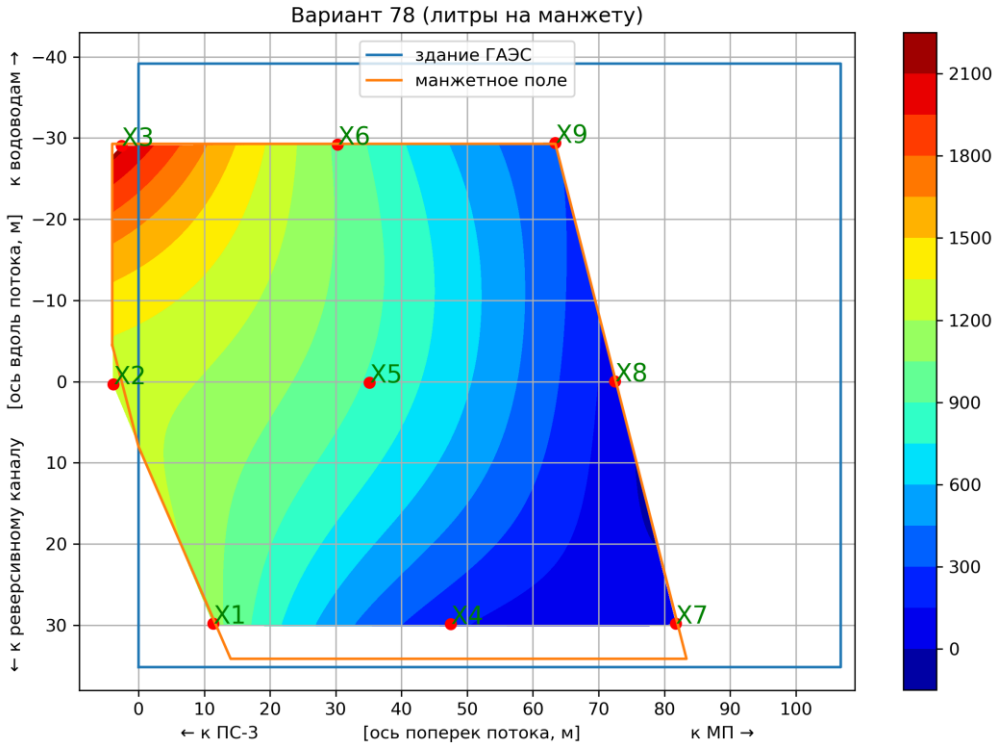


Рисунок Г.2.78.

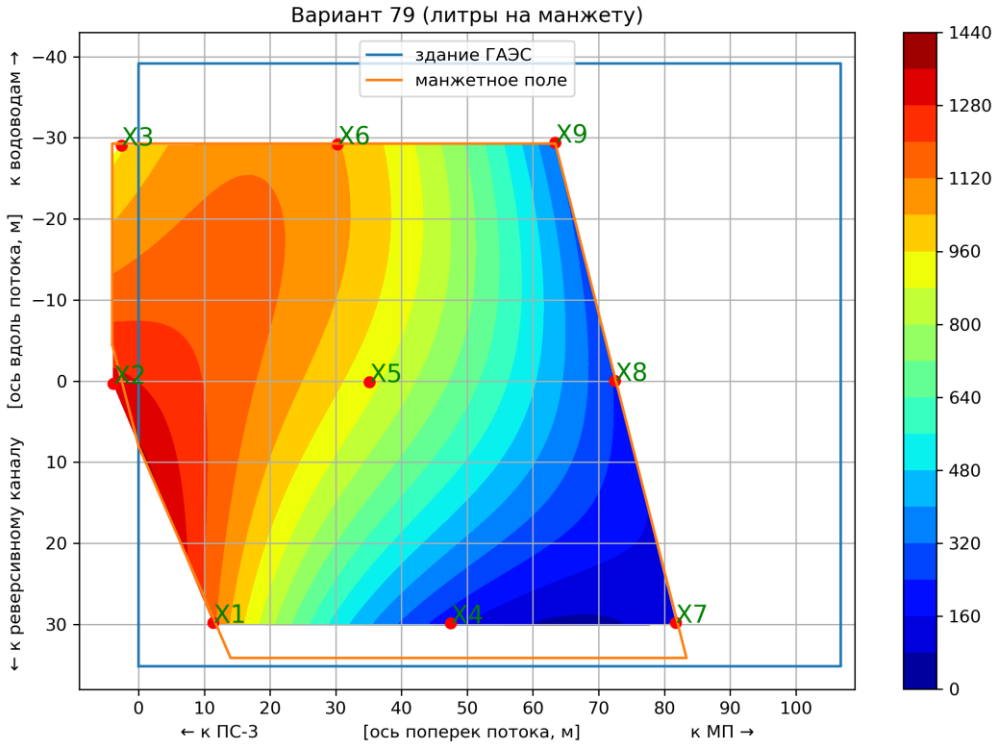


Рисунок Г.2.79.

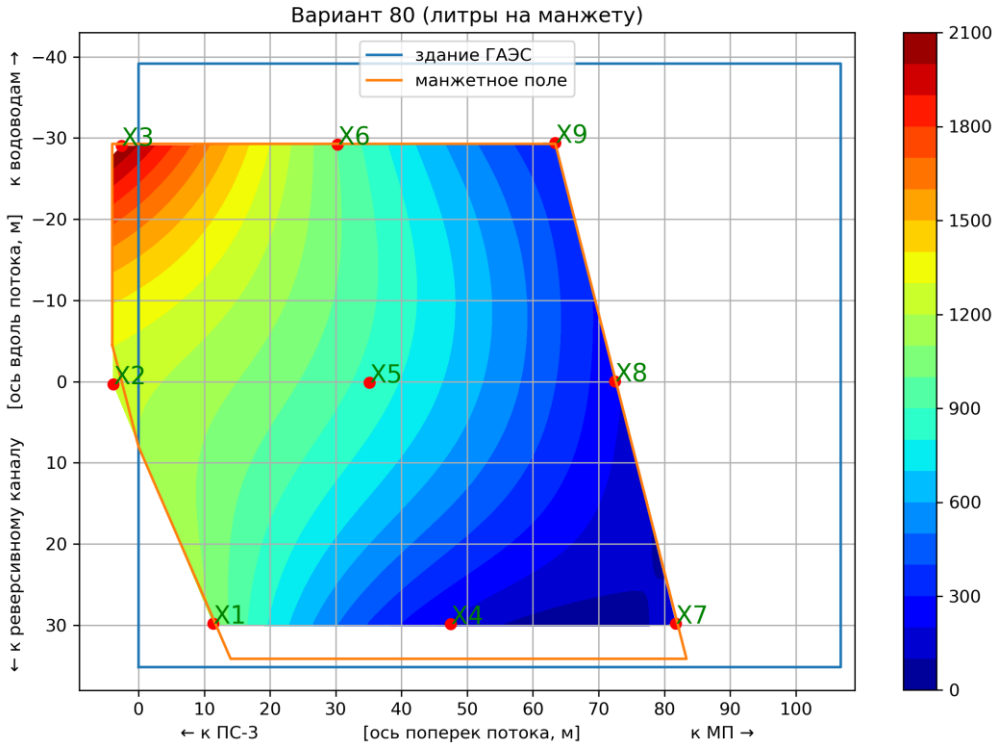


Рисунок Г.2.80.

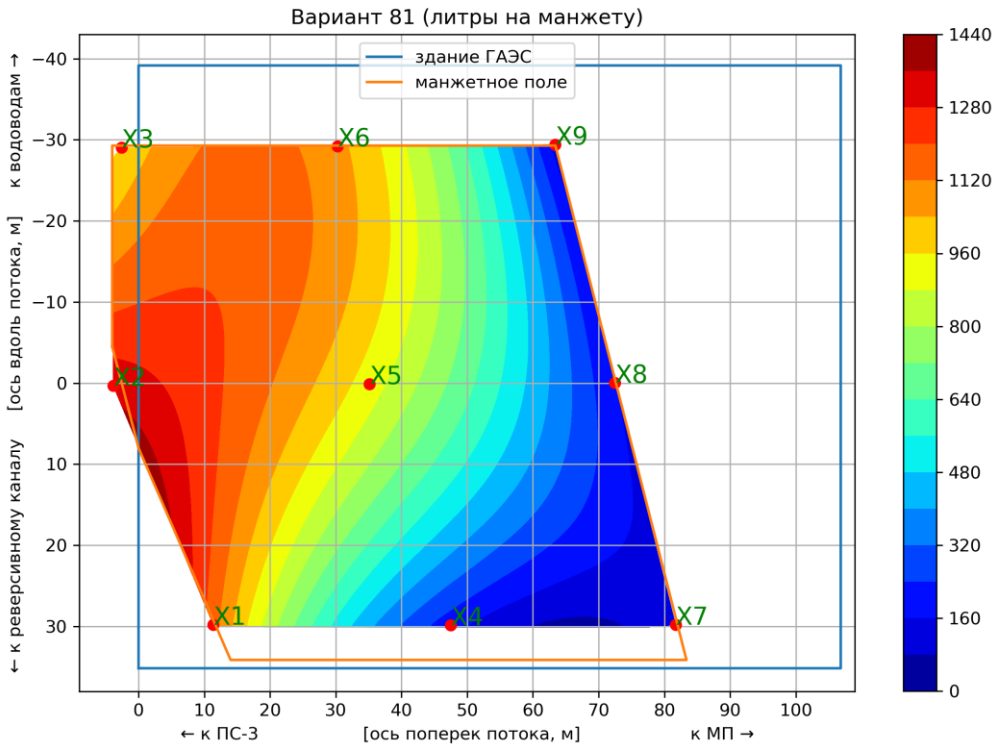


Рисунок Г.2.81.

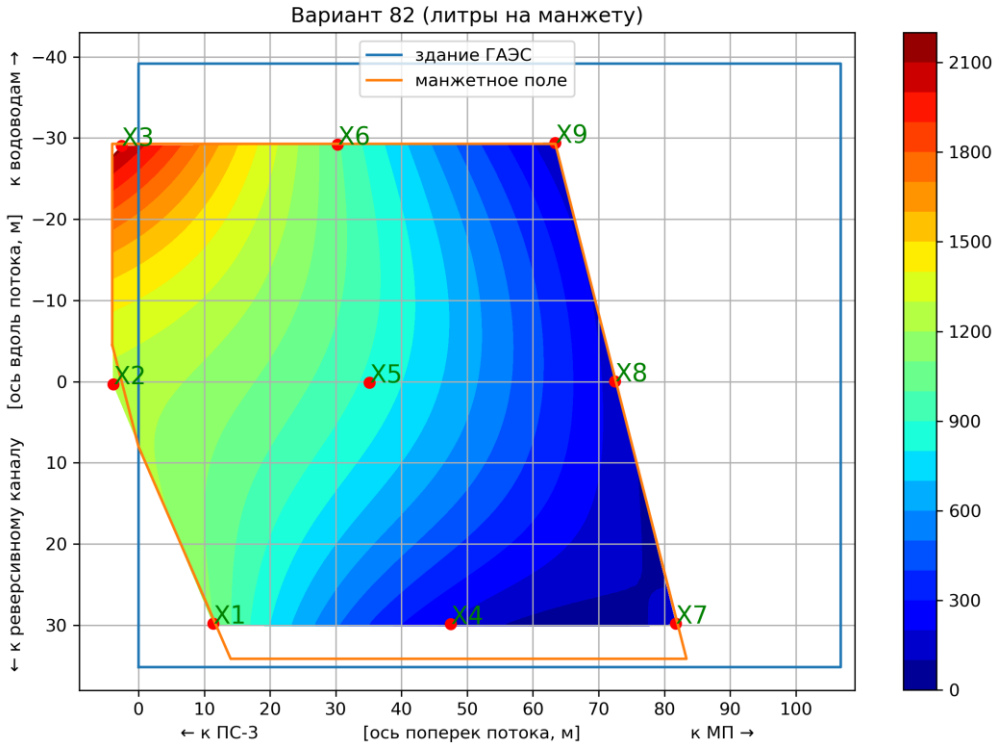


Рисунок Г.2.82.

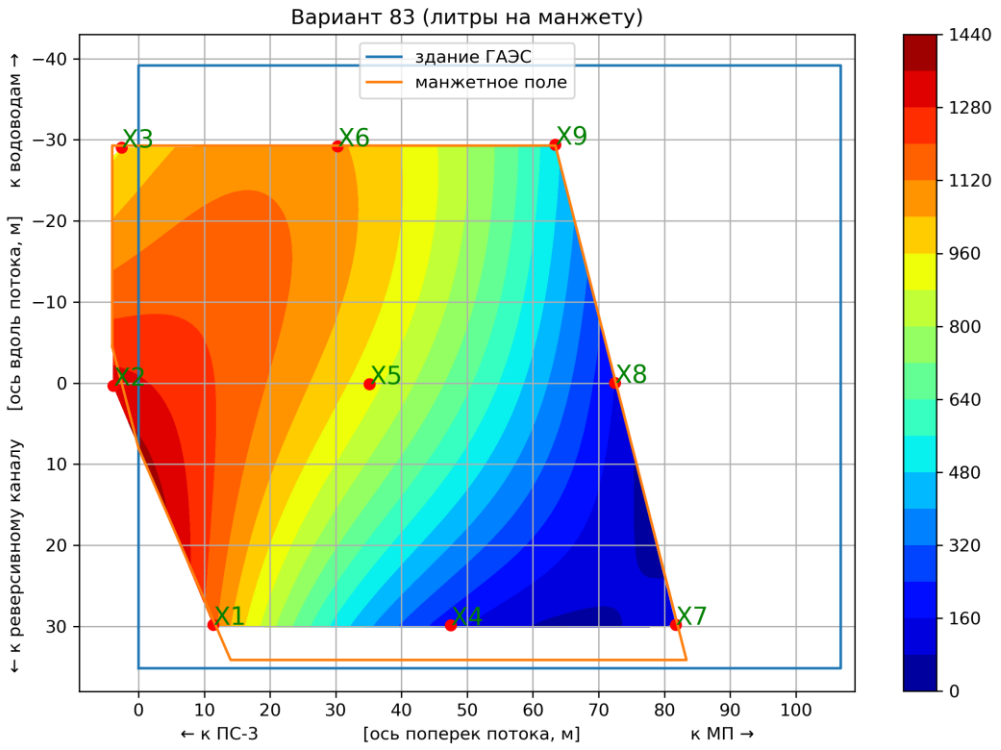


Рисунок Г.2.83.

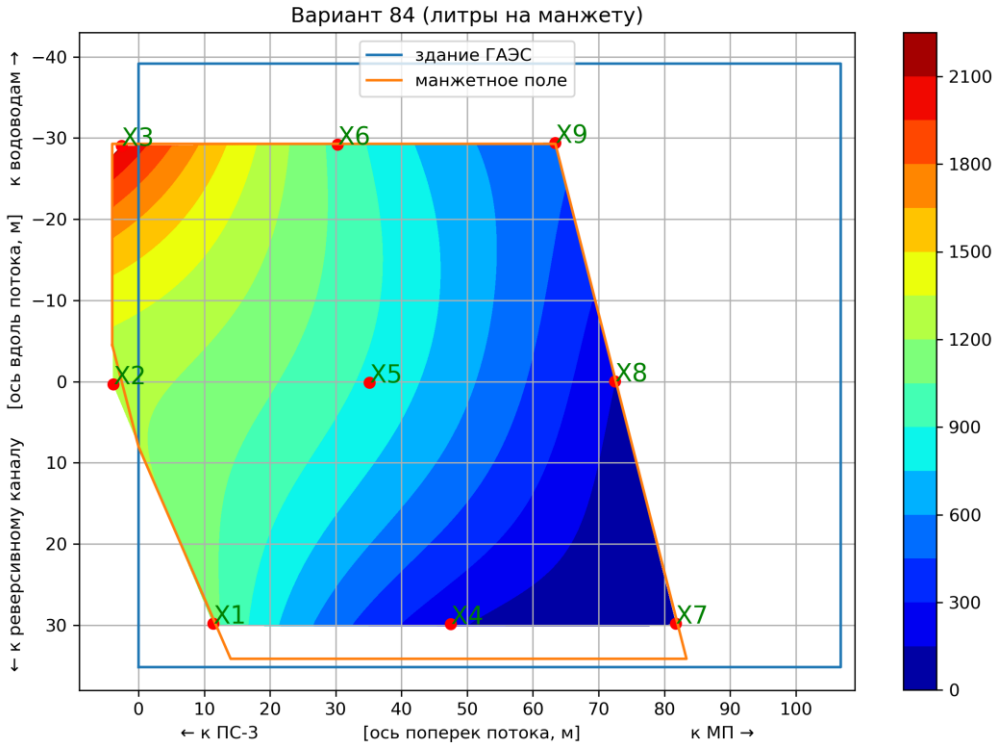


Рисунок Г.2.84.

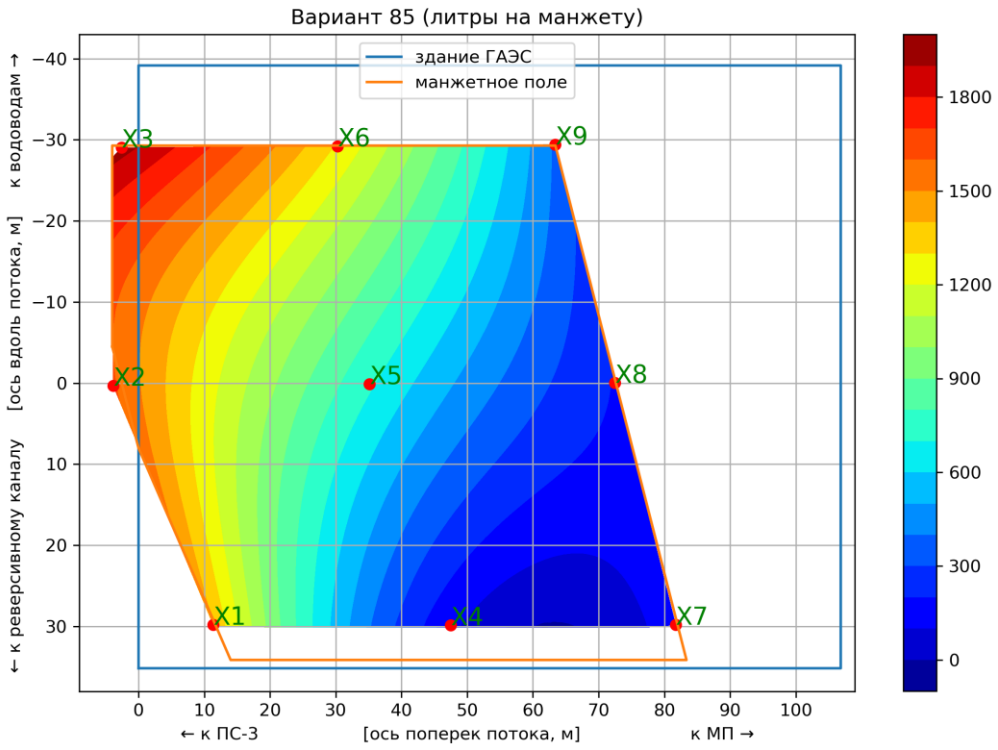


Рисунок Г.2.85.

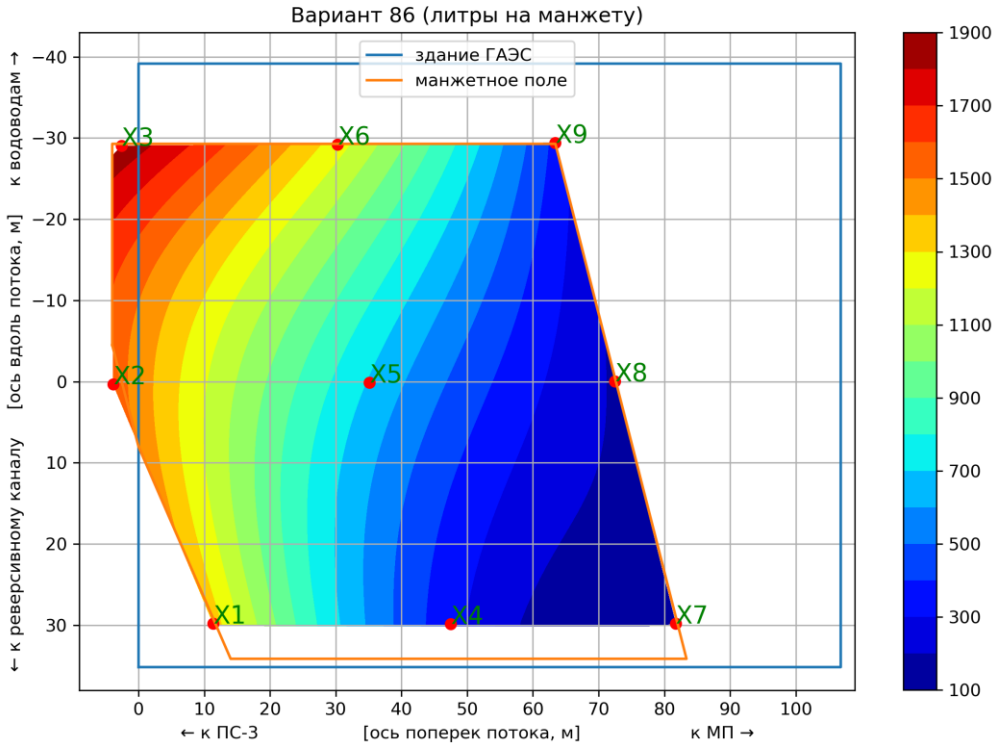


Рисунок Г.2.86.

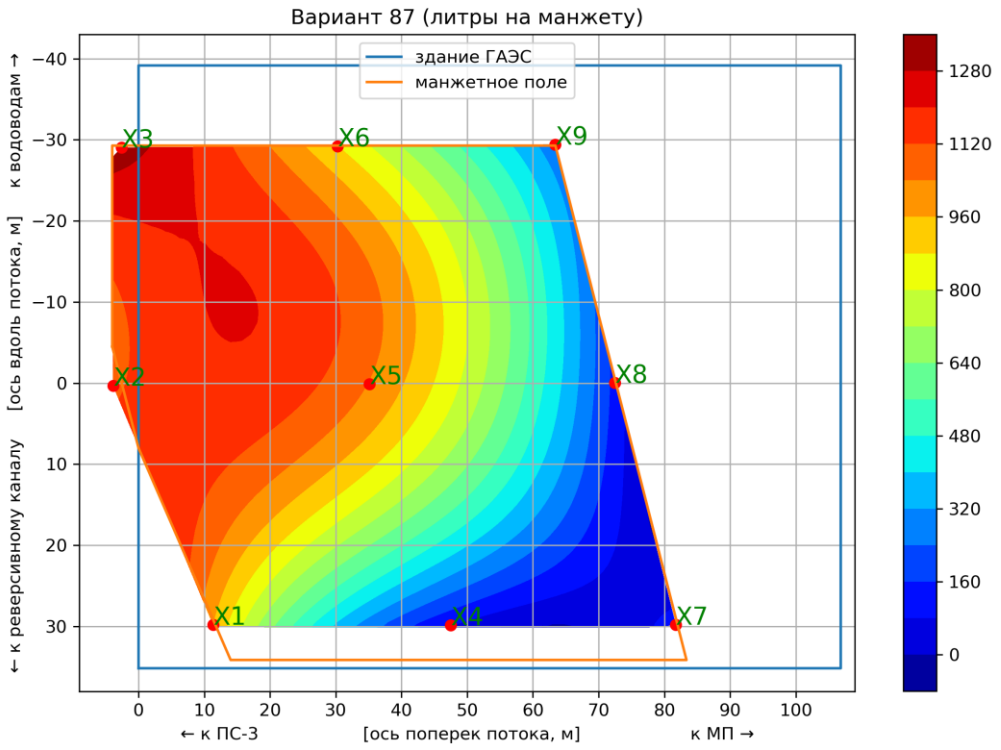


Рисунок Г.2.87.

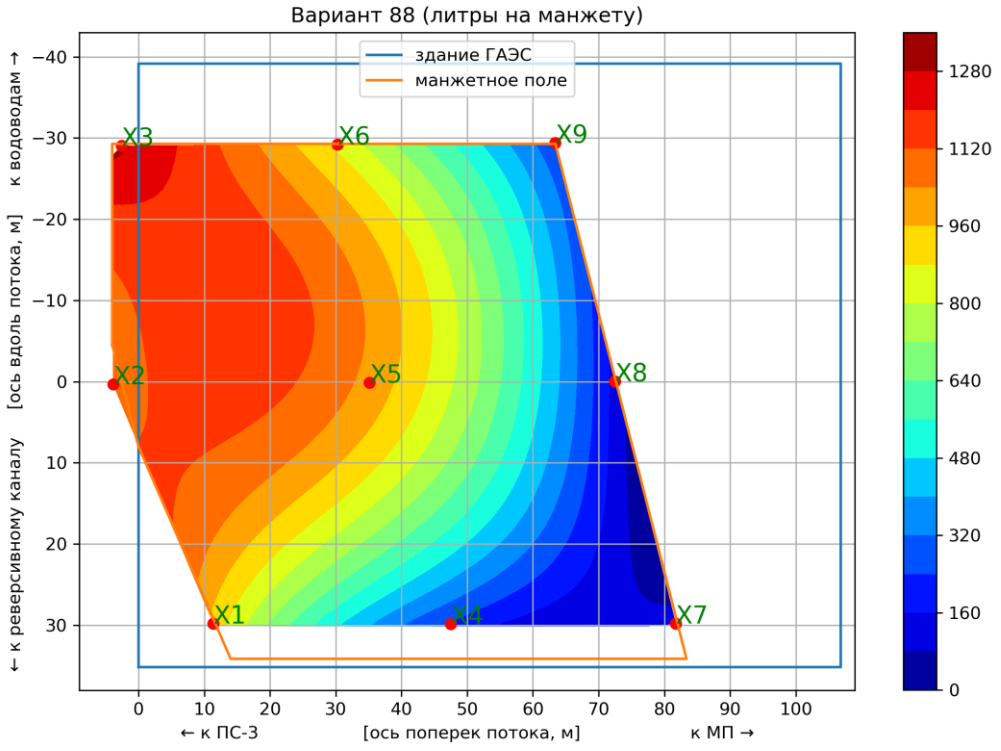


Рисунок Г.2.88.

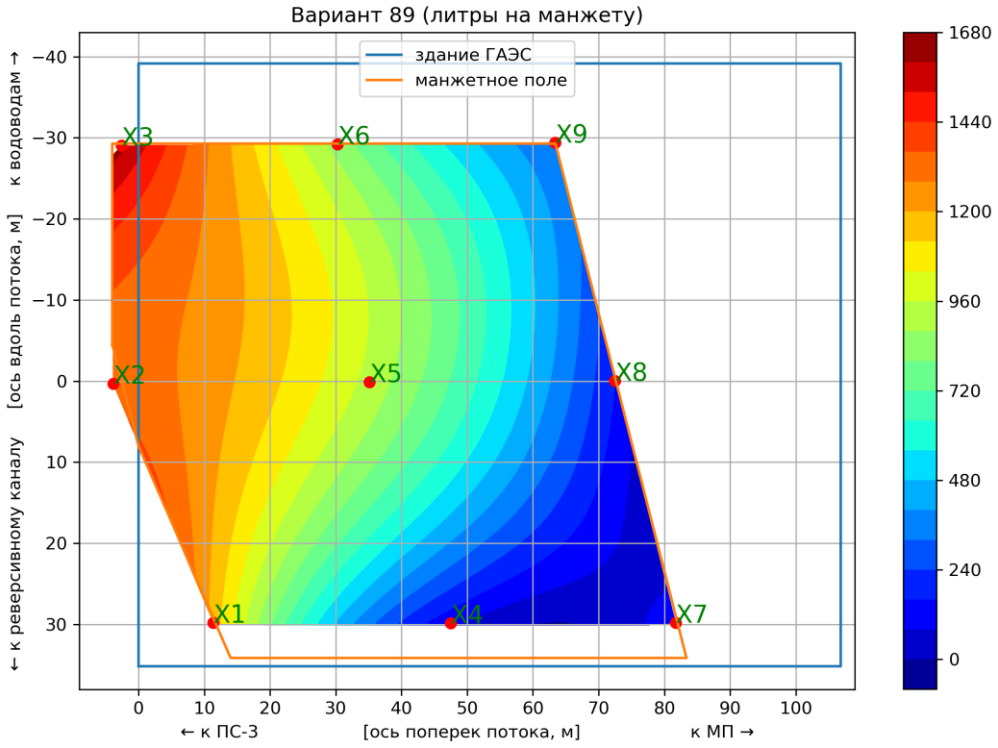


Рисунок Г.2.89.

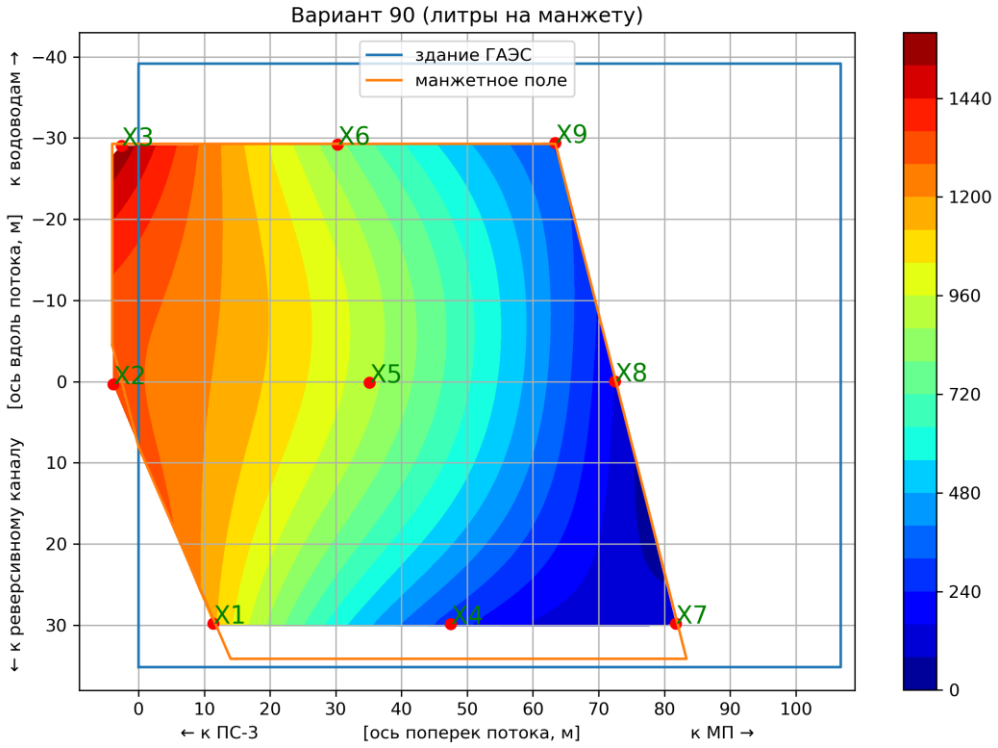


Рисунок Г.2.90.

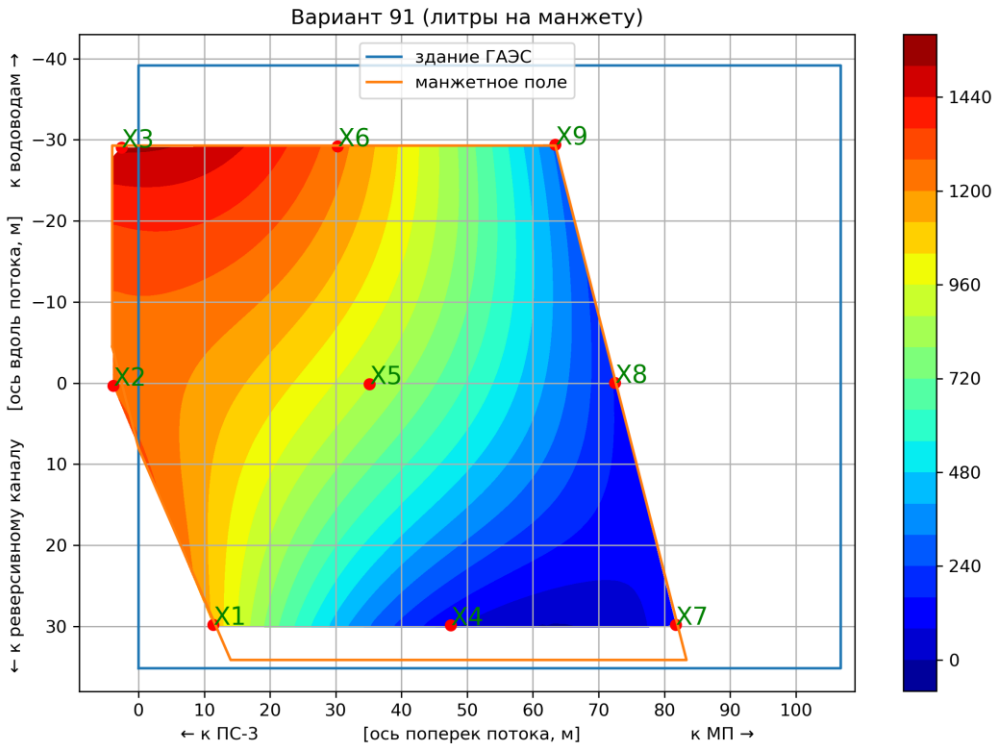


Рисунок Г.2.91.

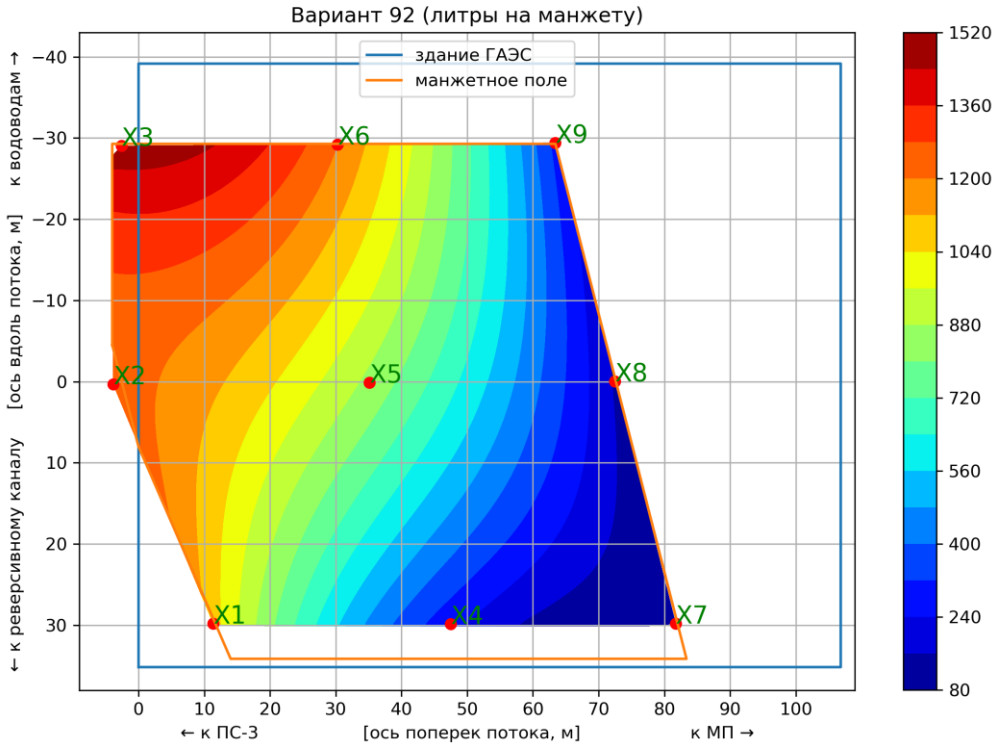


Рисунок Г.2.92.

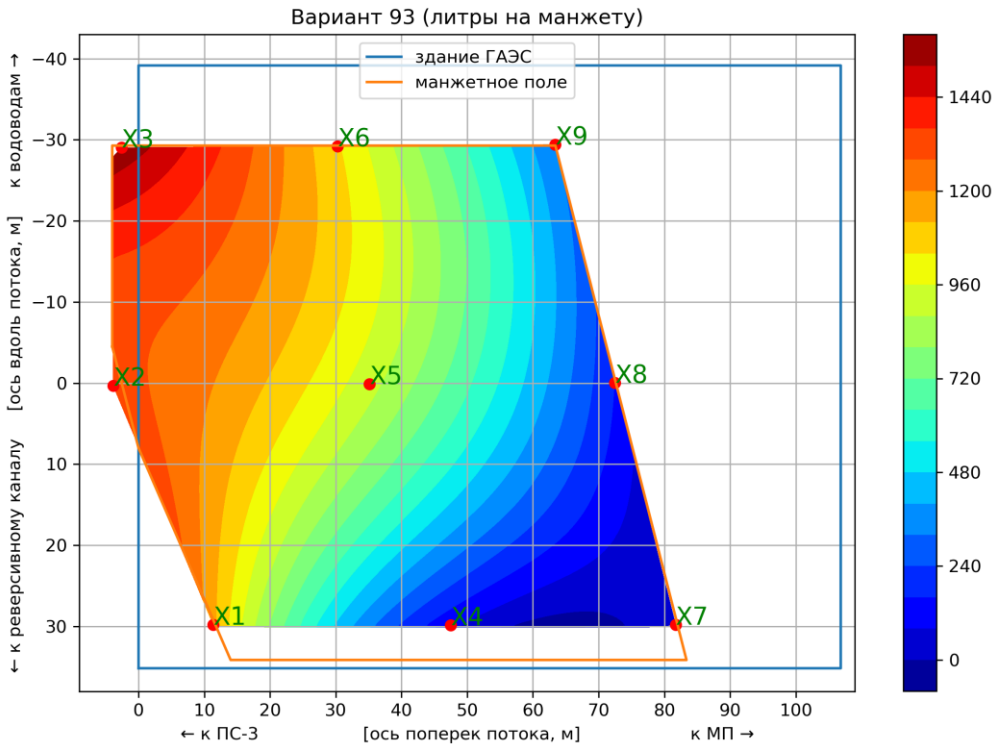


Рисунок Г.2.93.

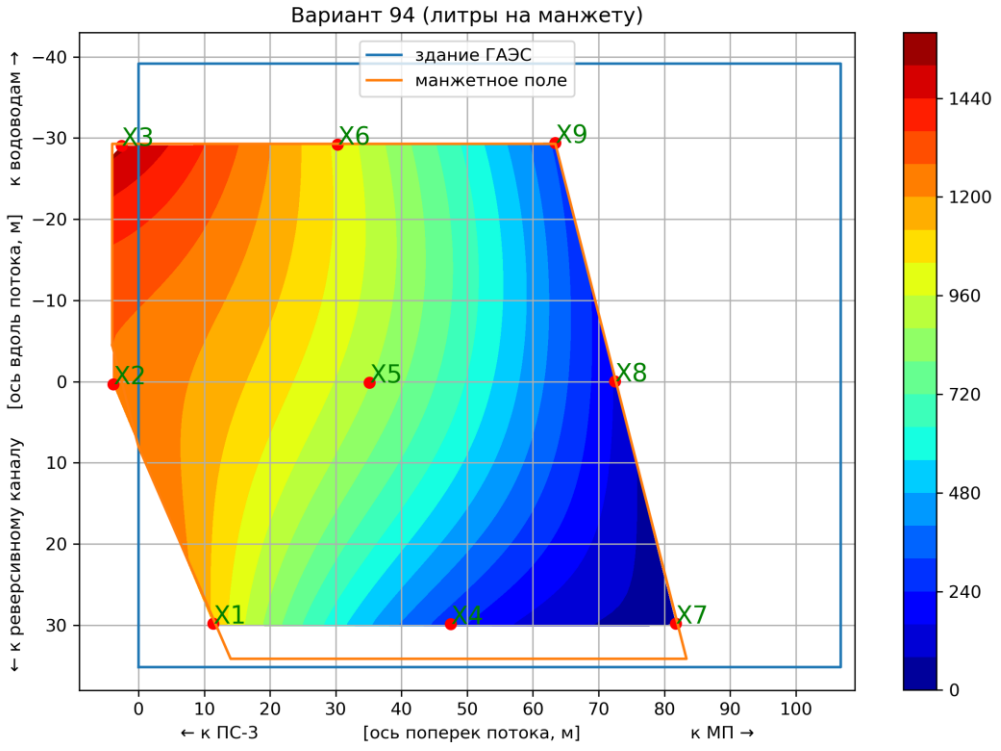


Рисунок Г.2.94.

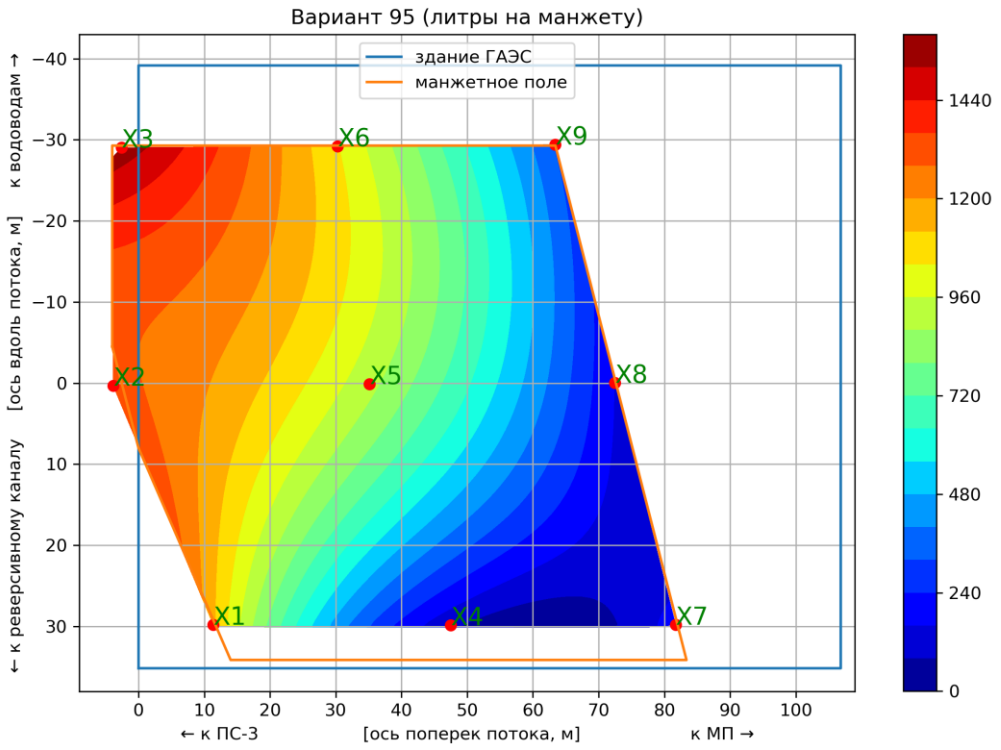


Рисунок Г.2.95.

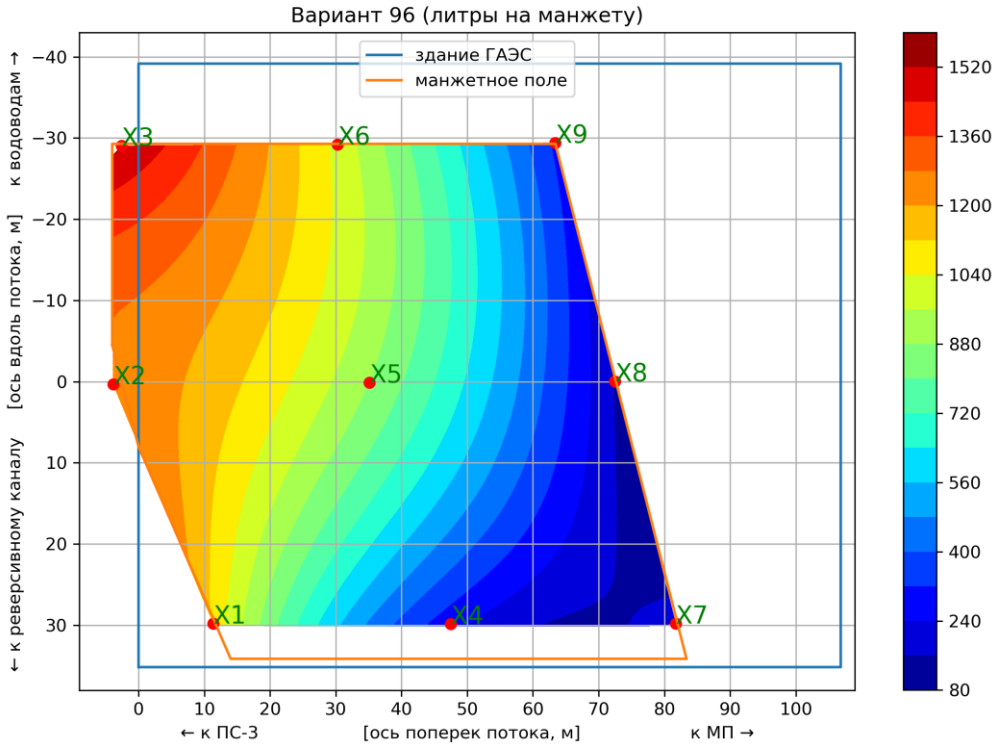


Рисунок Г.2.96.

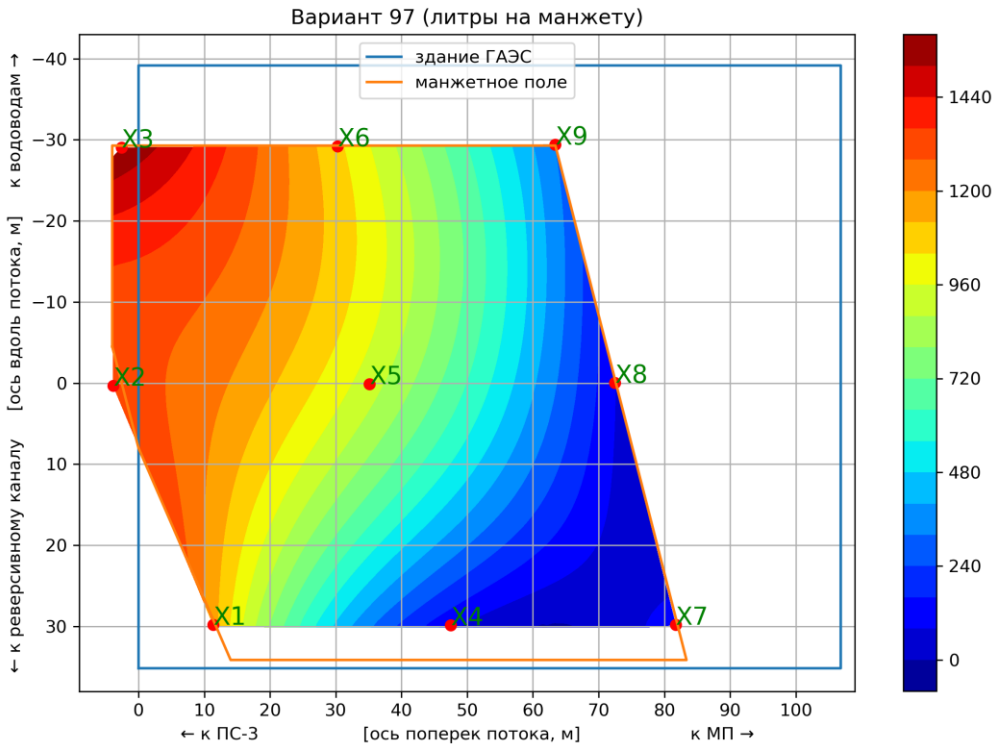


Рисунок Г.2.97.

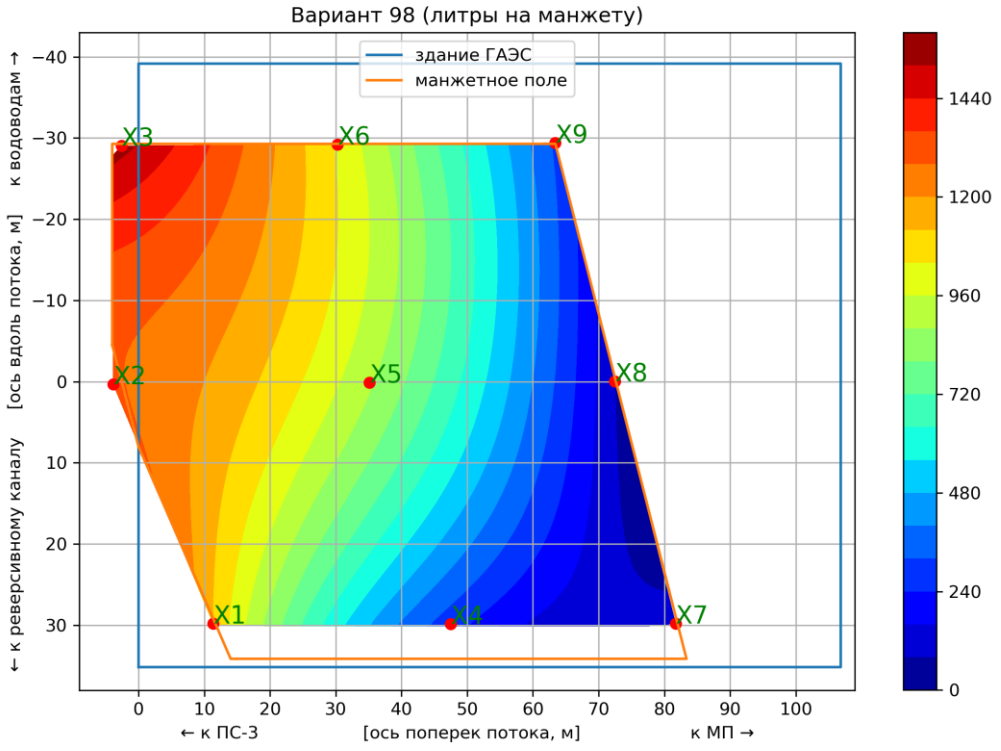


Рисунок Г.2.98.

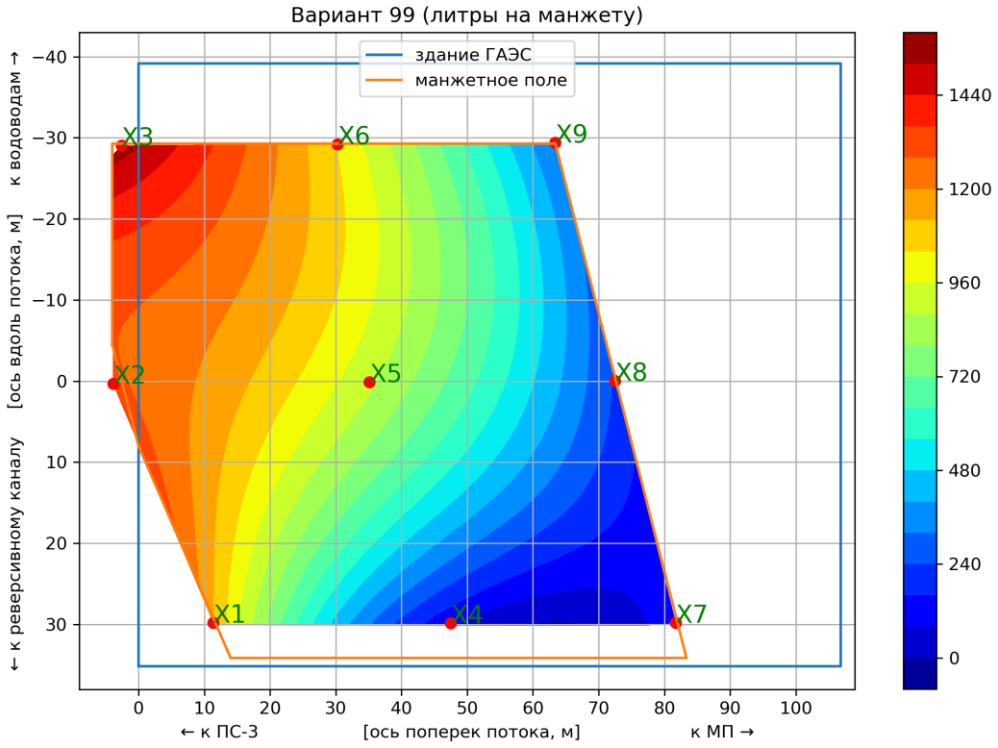


Рисунок Г.2.99.

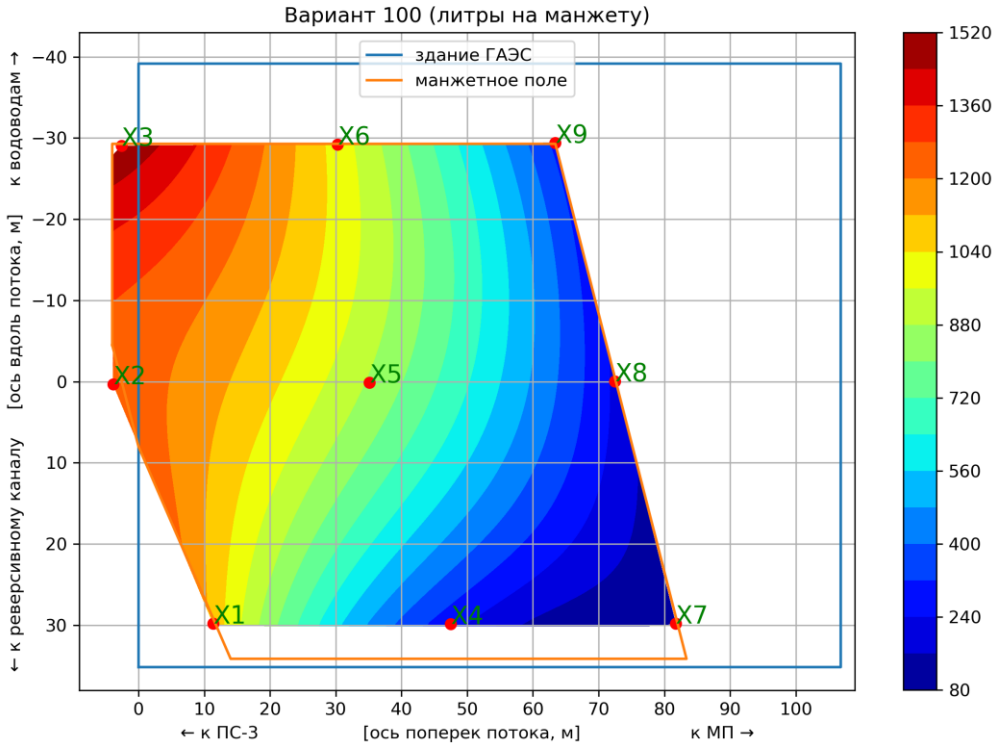


Рисунок Г.2.100.

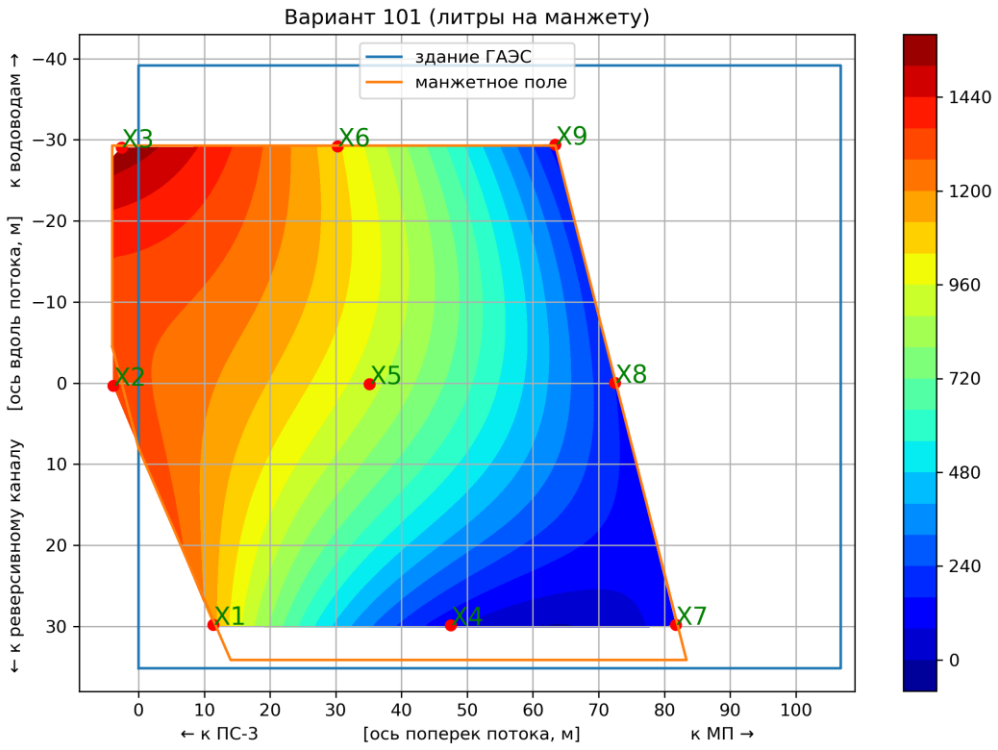


Рисунок Г.2.101.

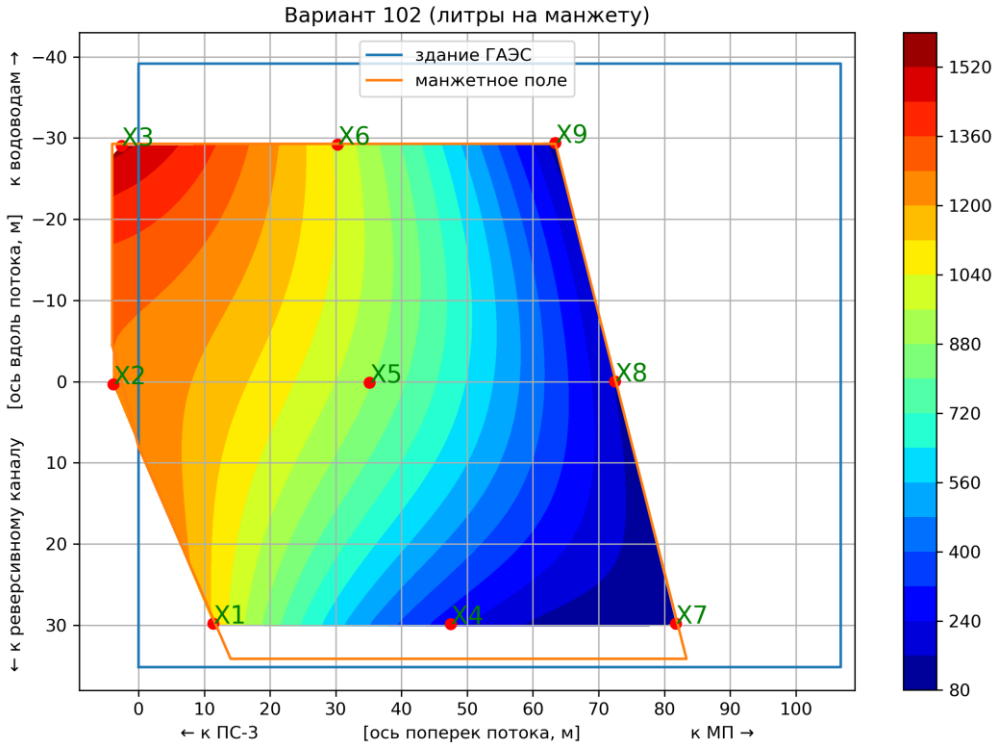


Рисунок Г.2.102.

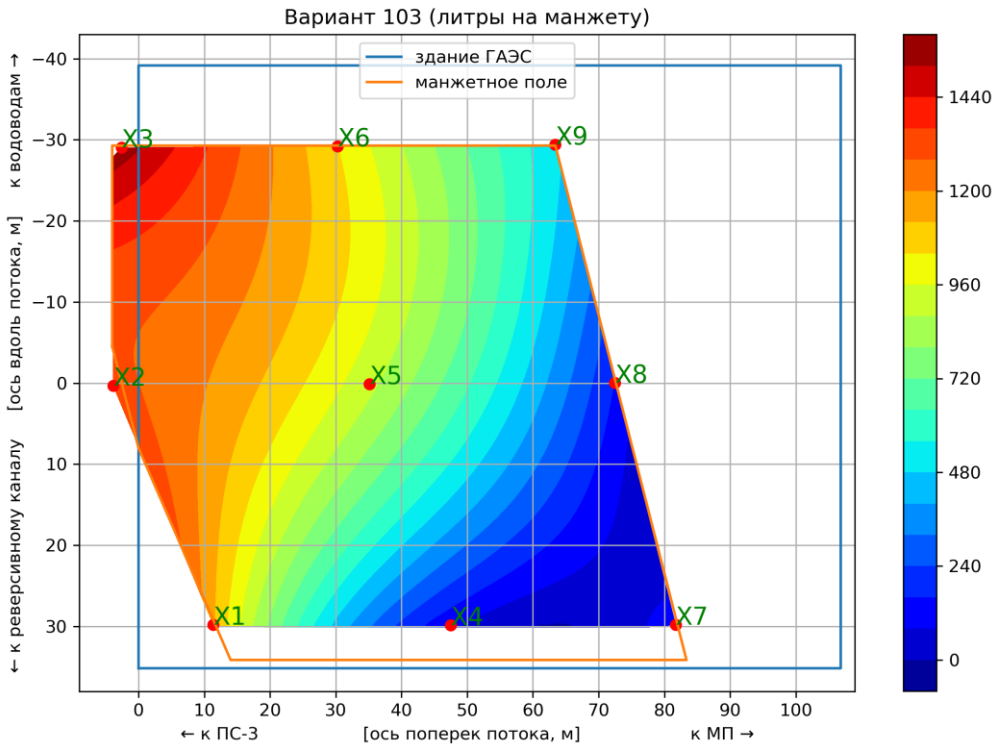


Рисунок Г.2.103.

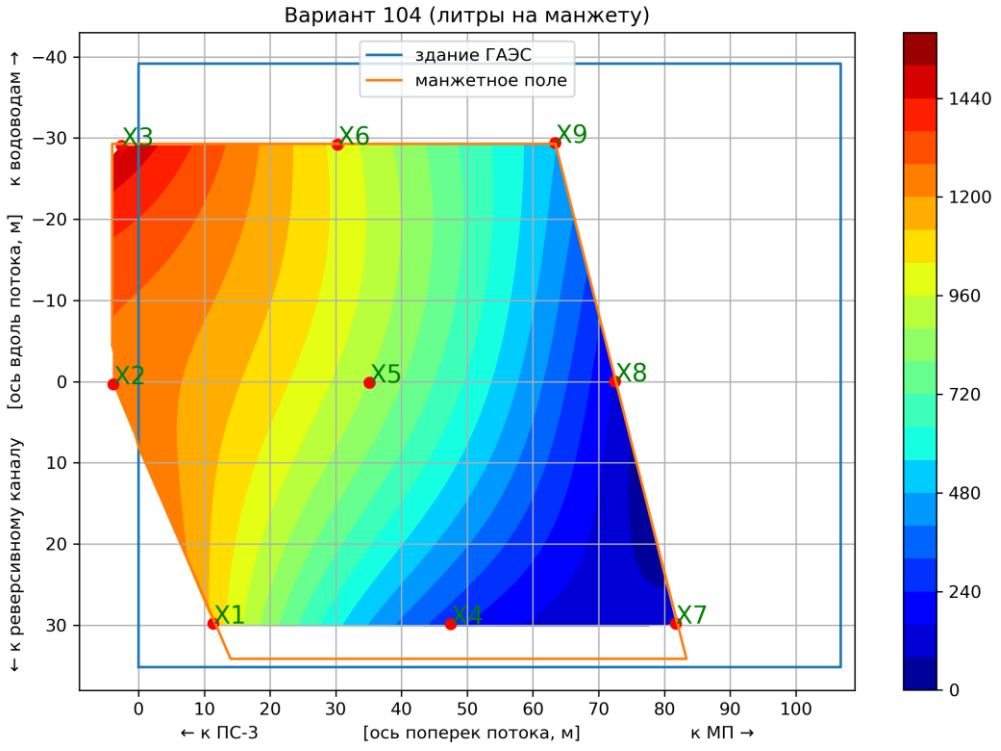


Рисунок Г.2.104.

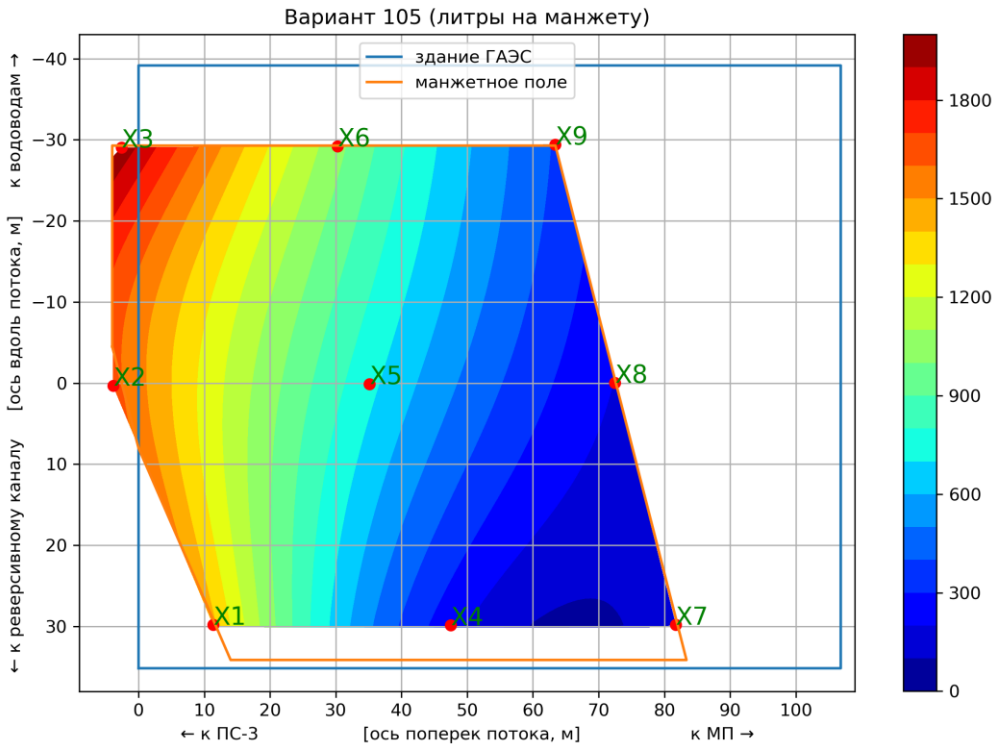


Рисунок Г.2.105.

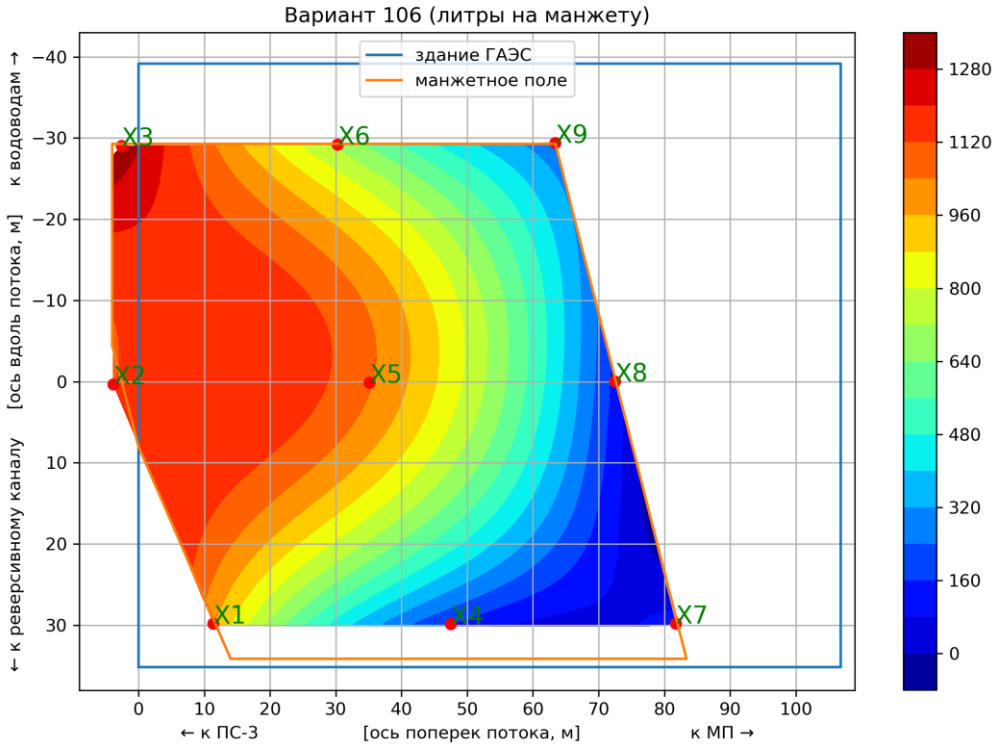


Рисунок Г.2.106.

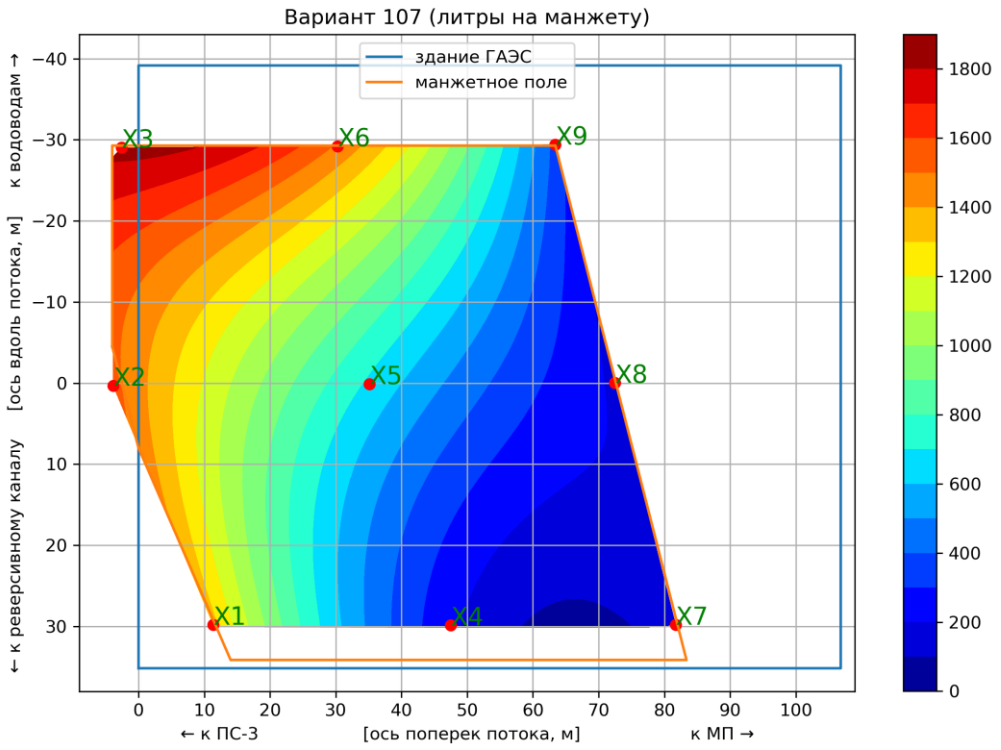


Рисунок Г.2.107.

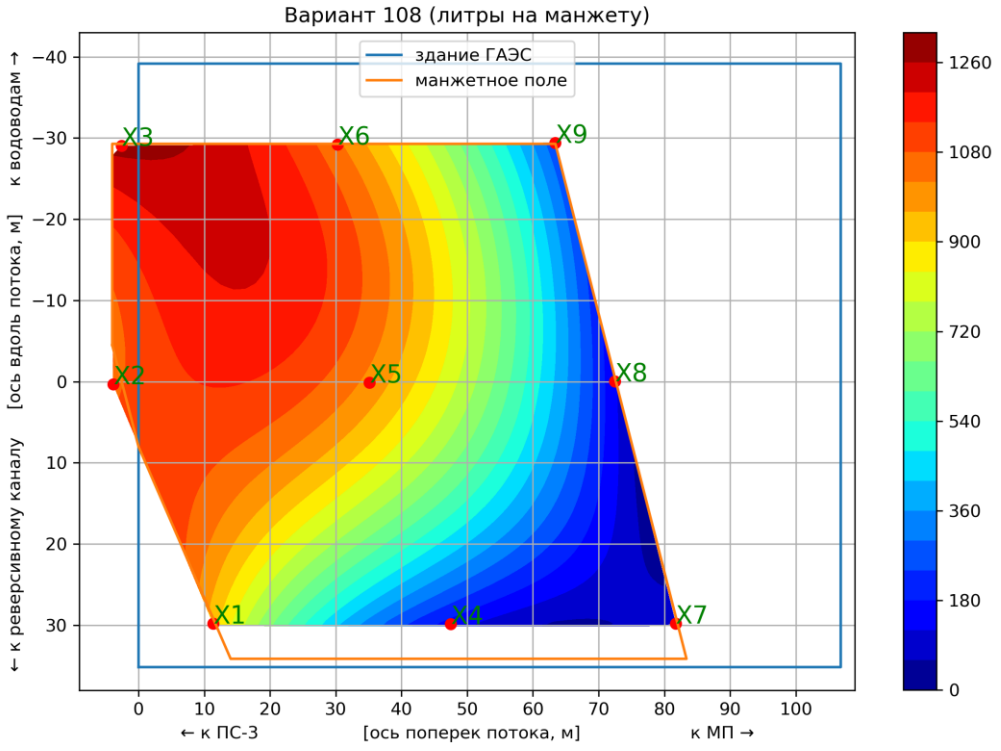


Рисунок Г.2.108.

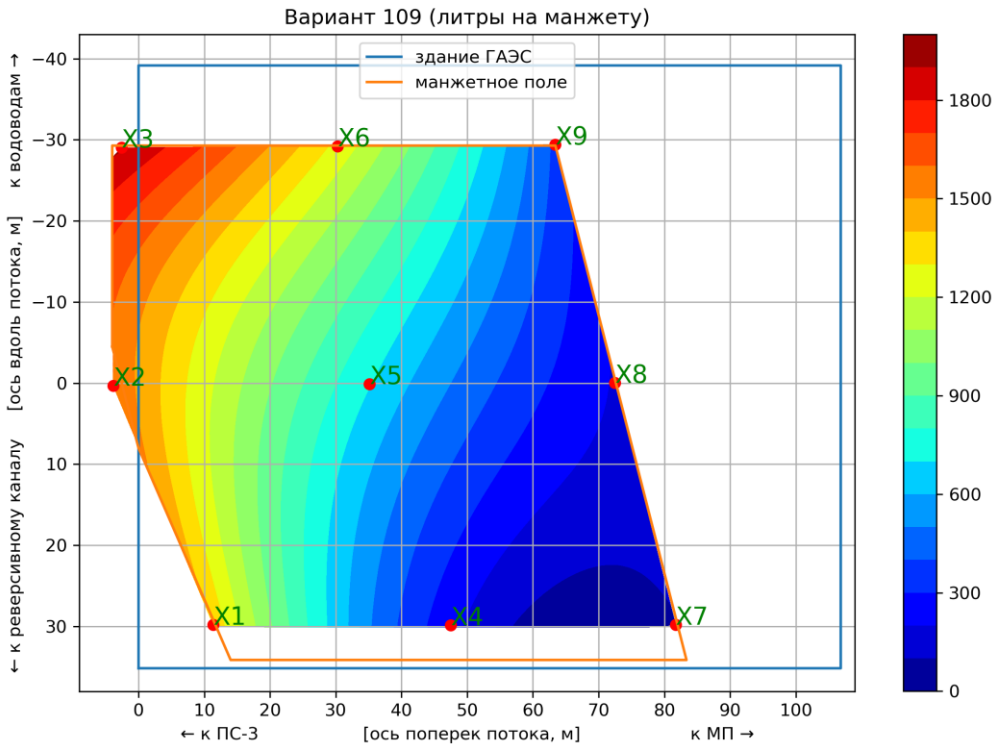


Рисунок Г.2.109.

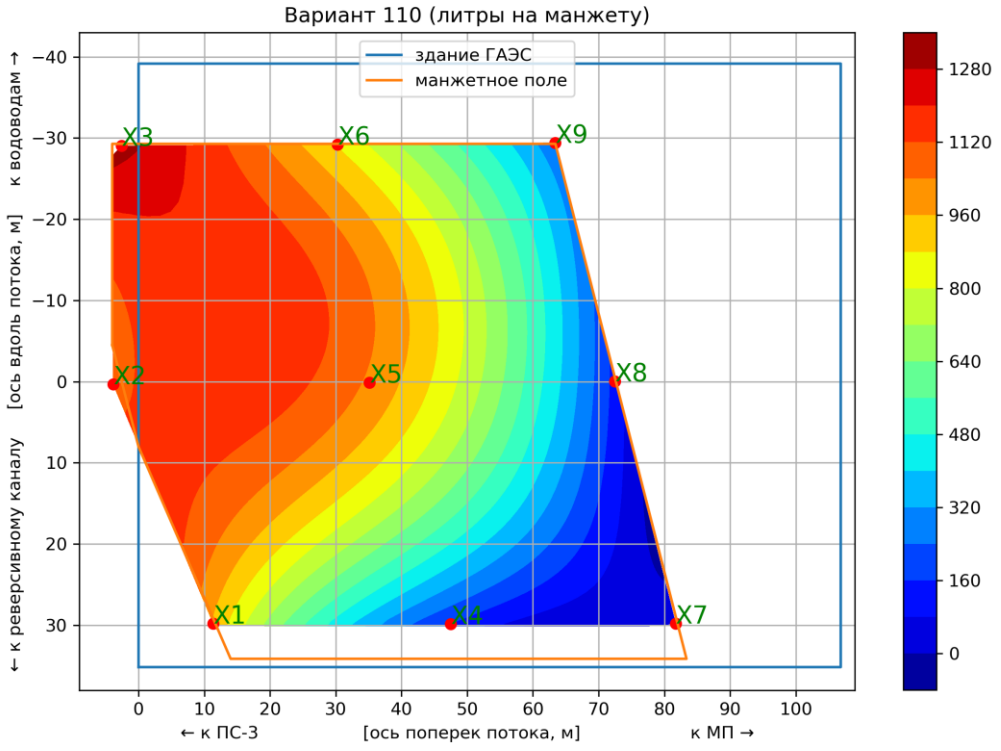


Рисунок Г.2.110.

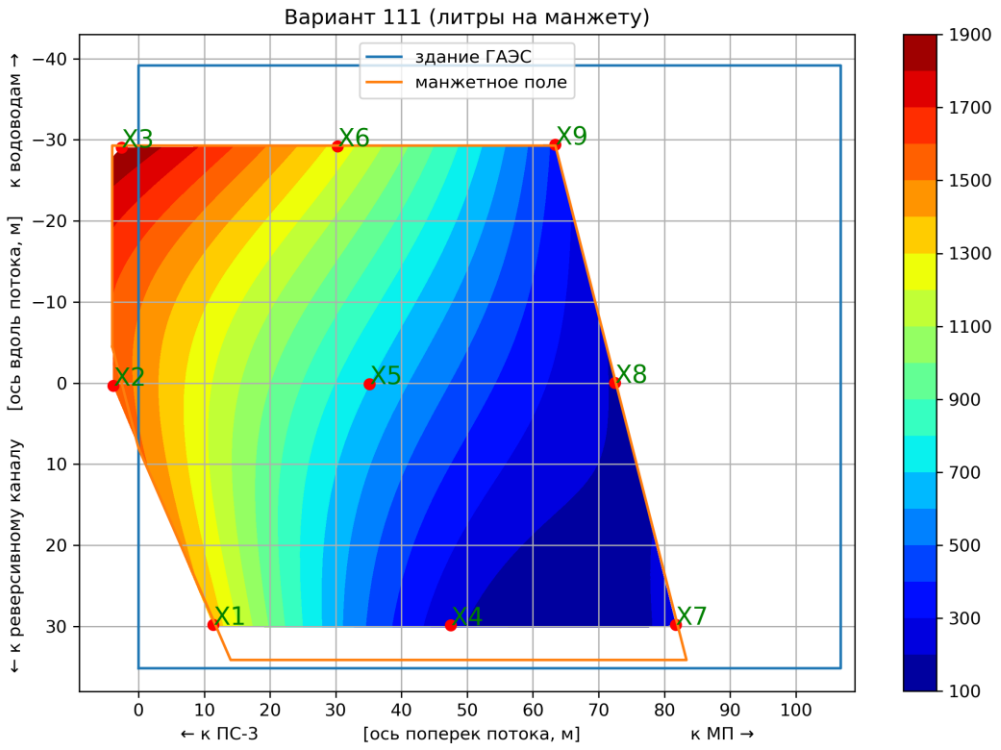


Рисунок Г.2.111.

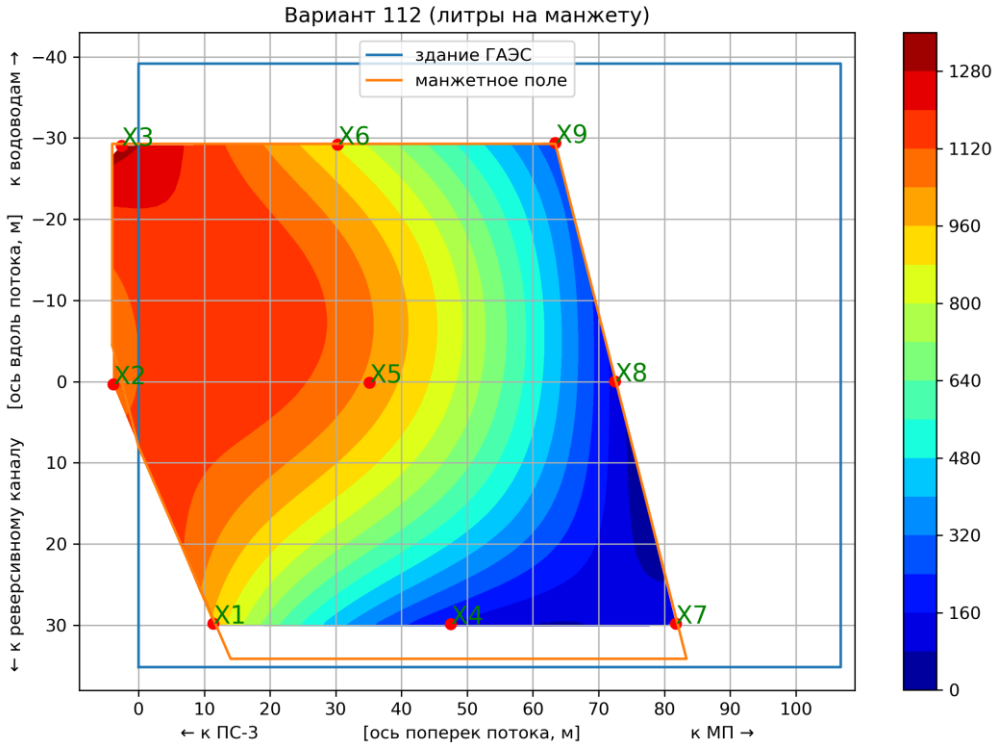


Рисунок Г.2.112.

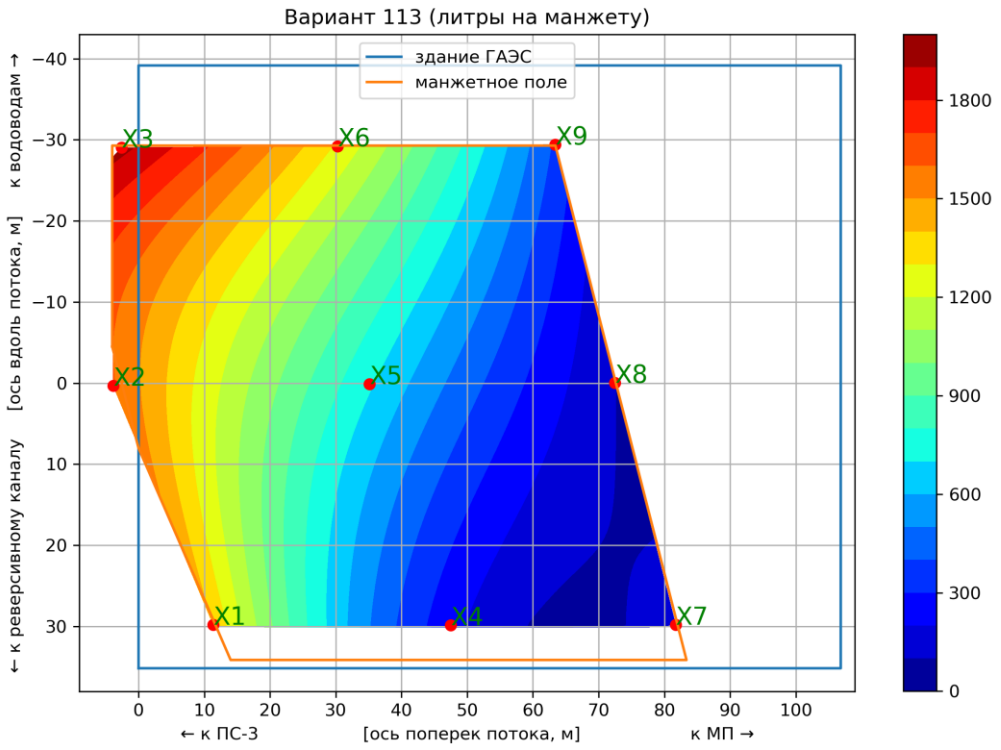


Рисунок Г.2.113.

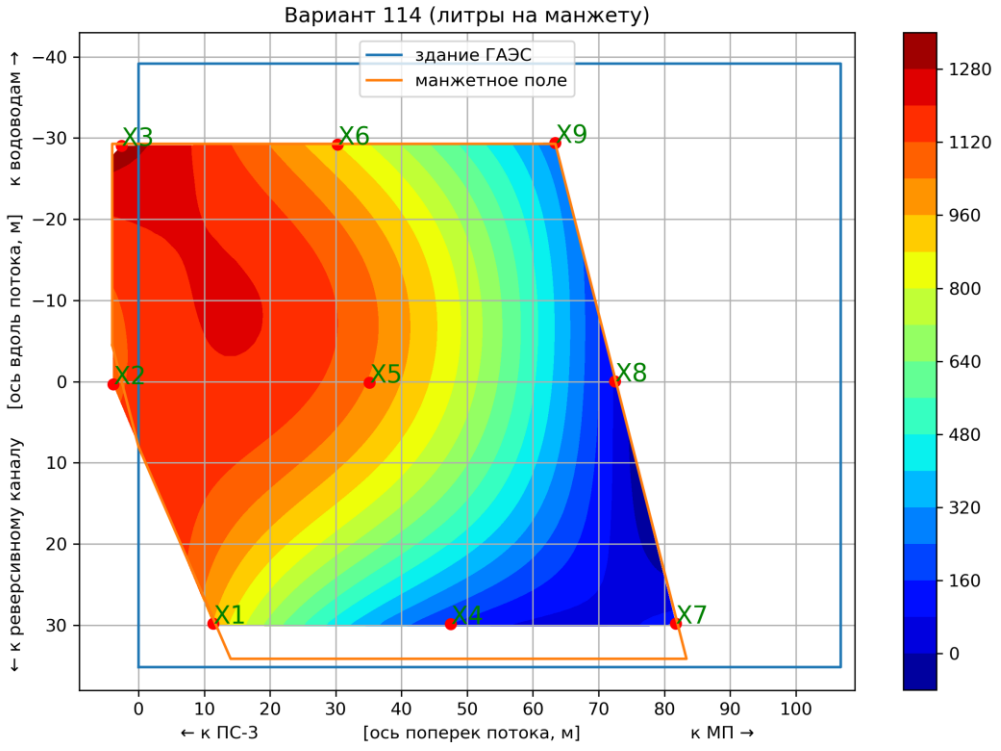


Рисунок Г.2.114.

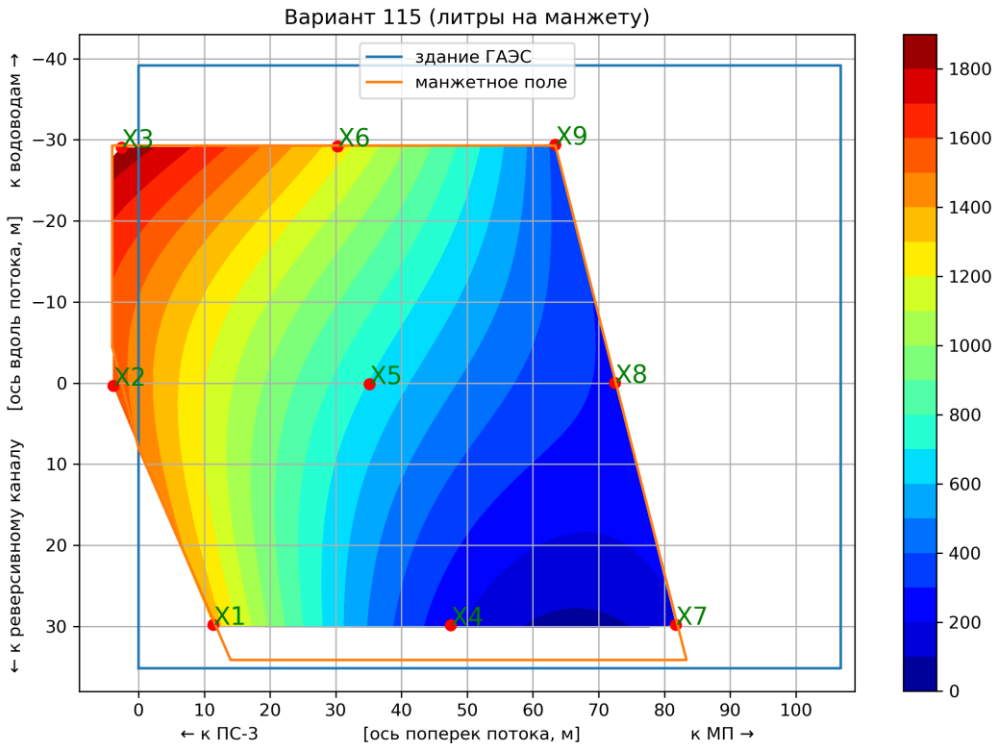


Рисунок Г.2.115.

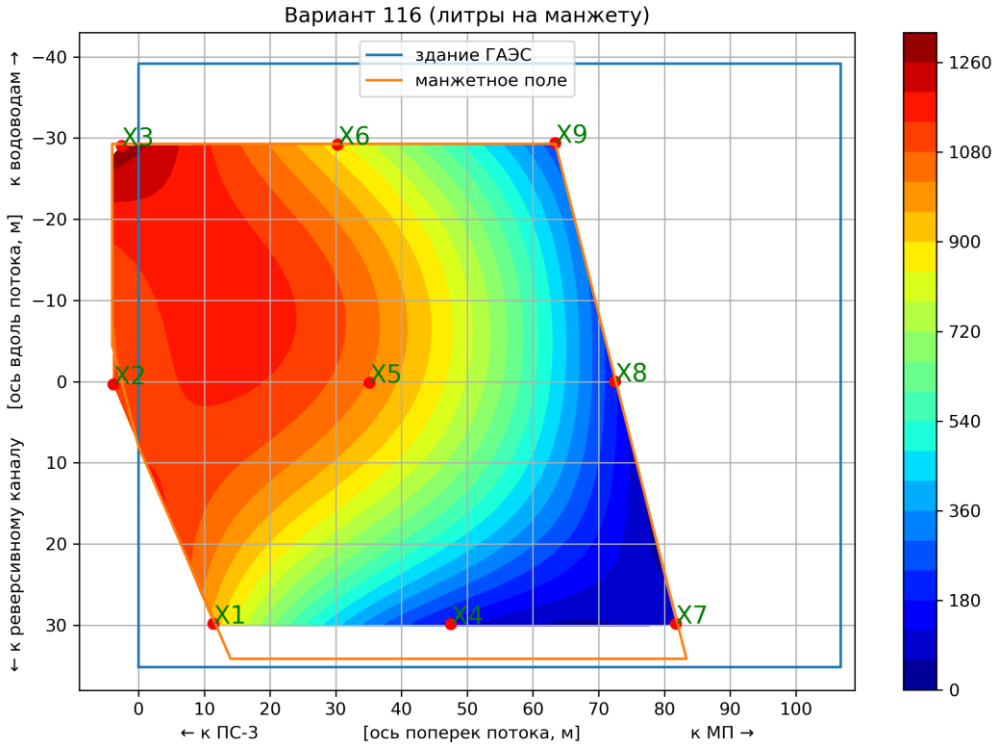


Рисунок Г.2.116.

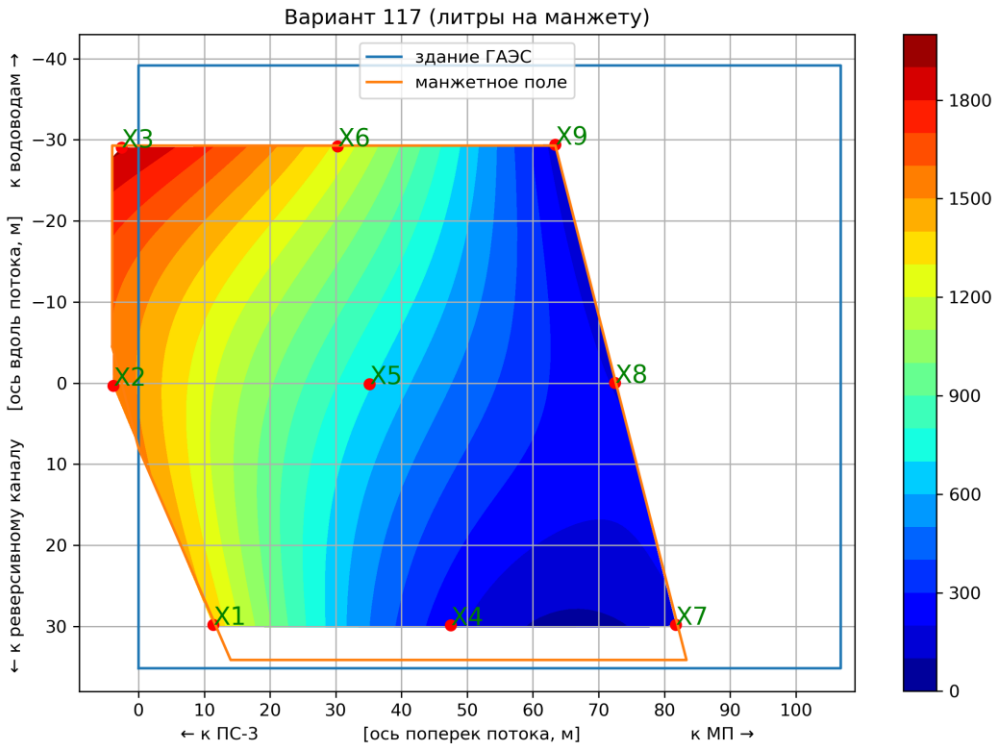


Рисунок Г.2.117.

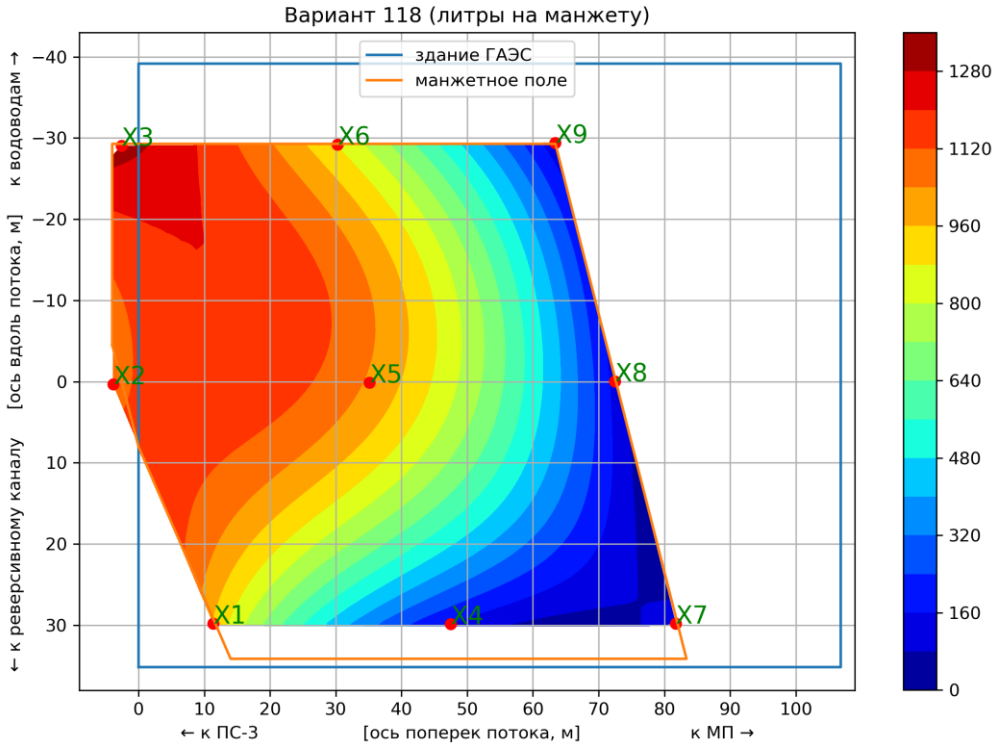


Рисунок Г.2.118.

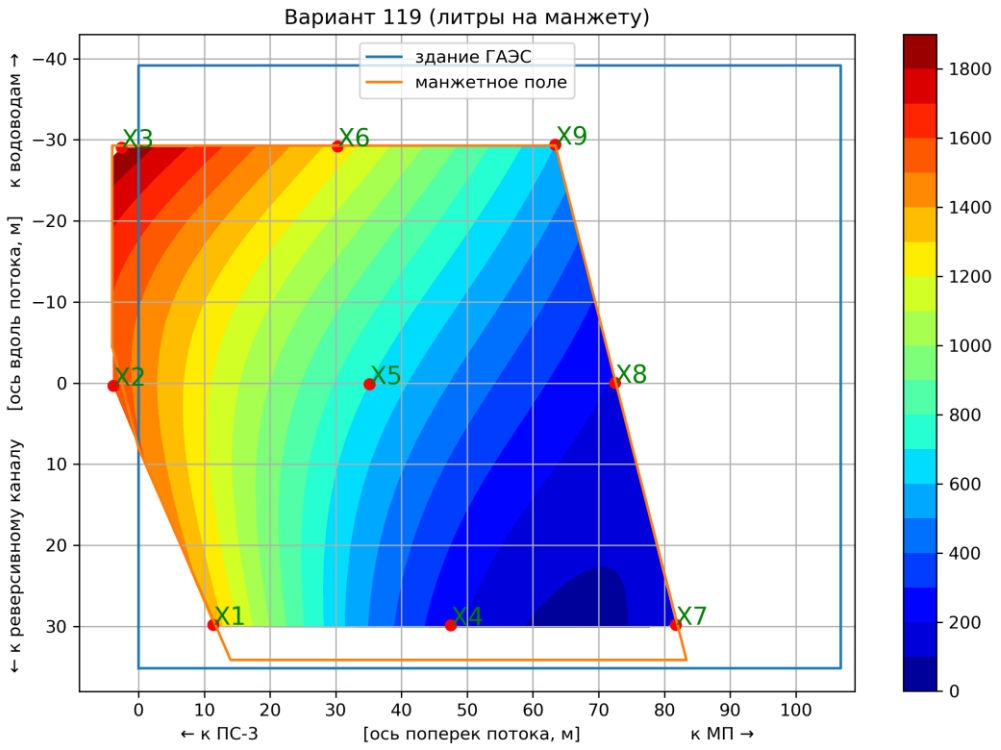


Рисунок Г.2.119.

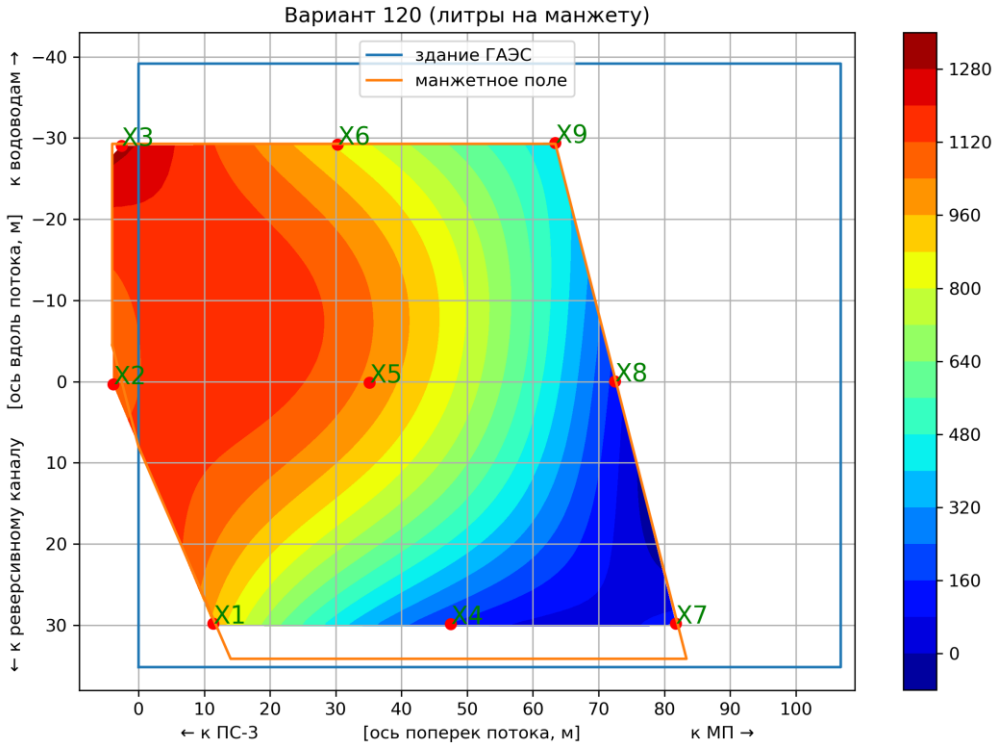


Рисунок Г.2.120.

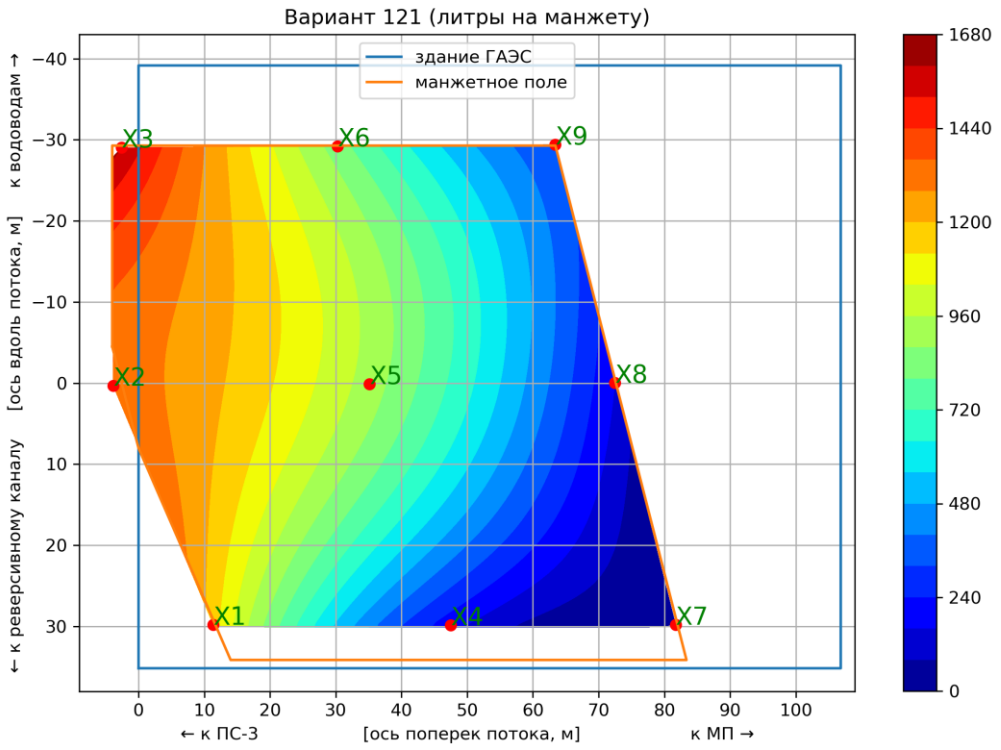


Рисунок Г.2.121.

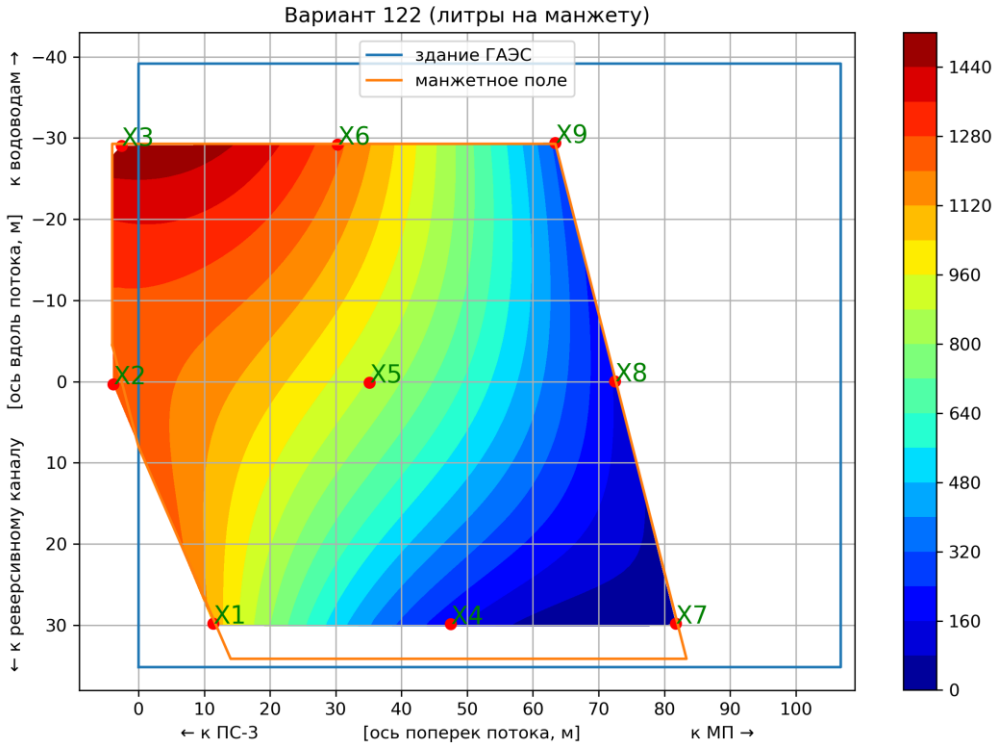


Рисунок Г.2.122.

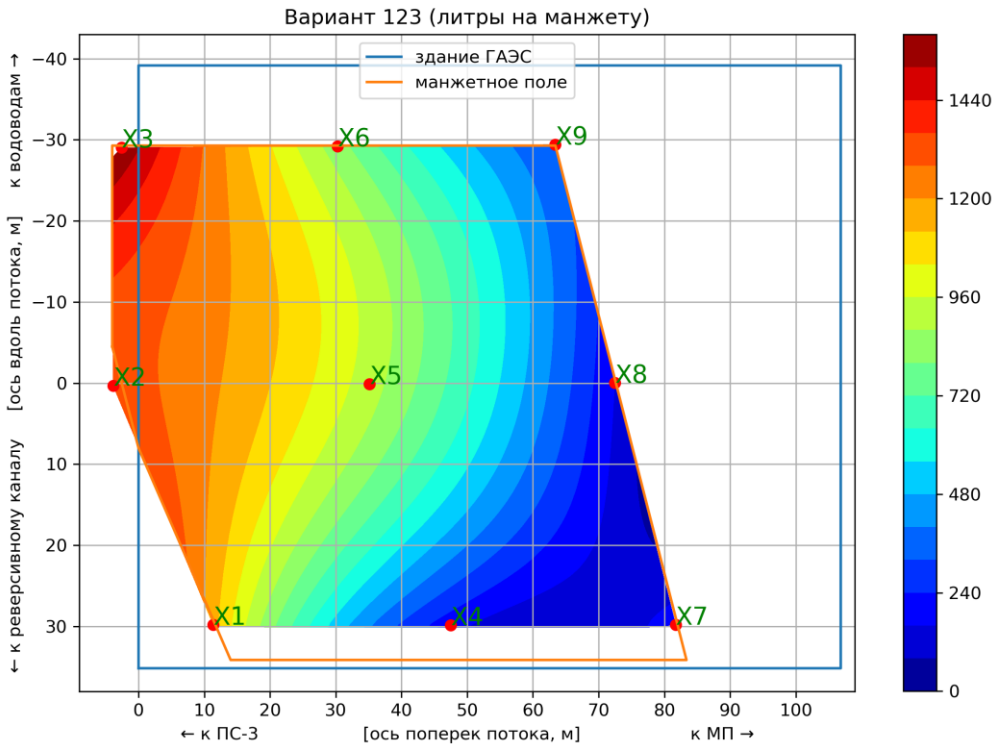


Рисунок Г.2.123.

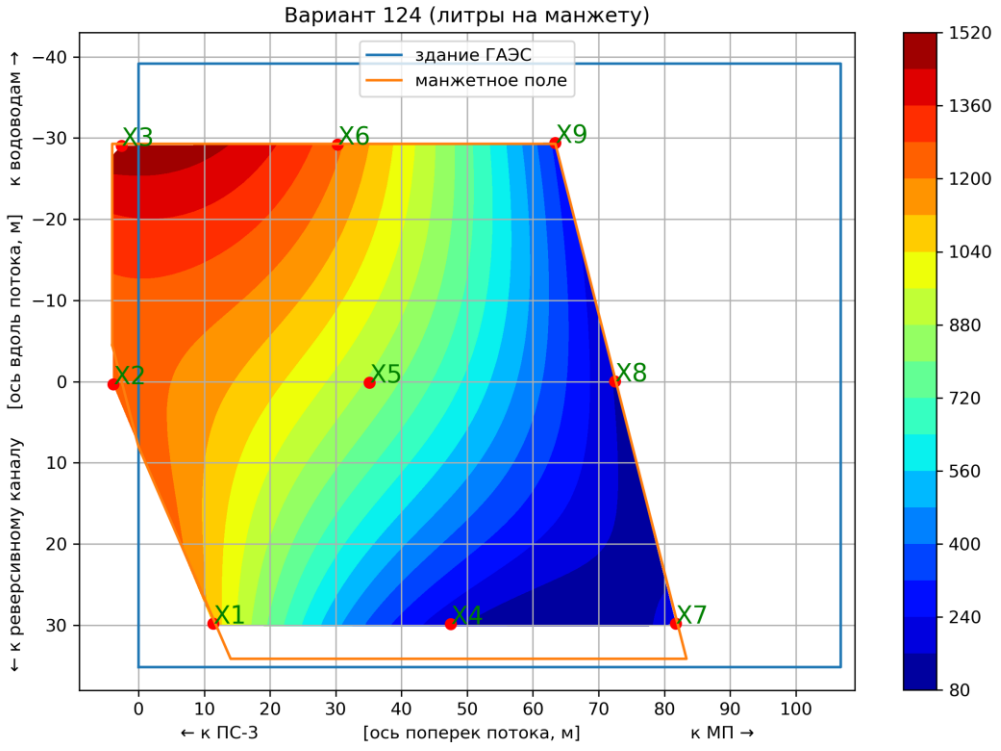


Рисунок Г.2.124.

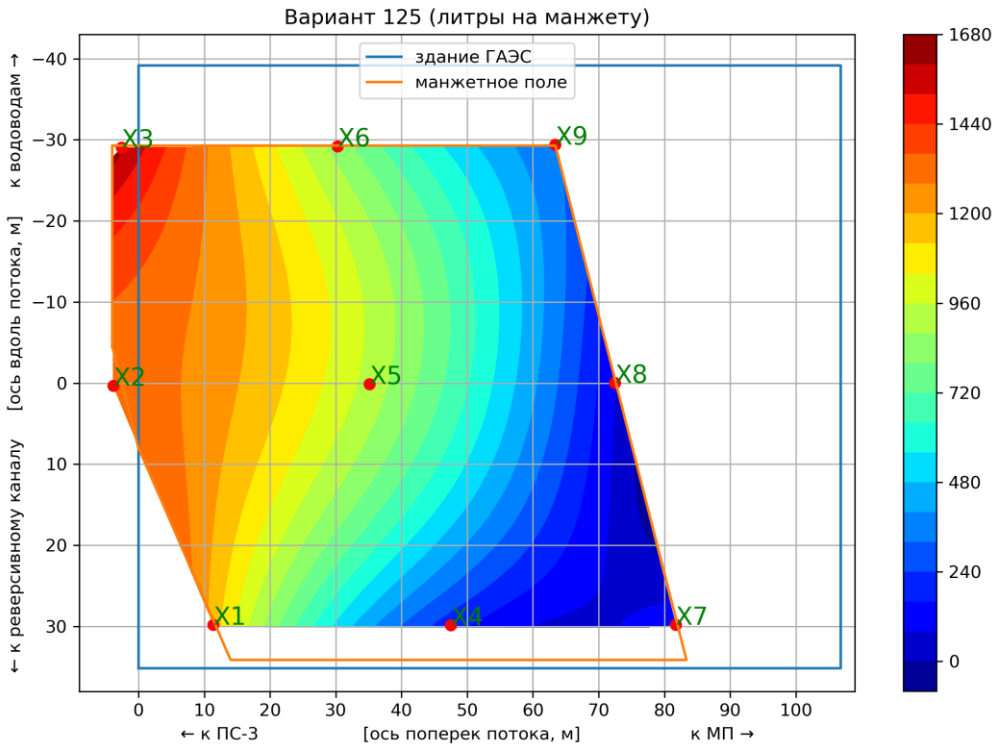


Рисунок Г.2.125.

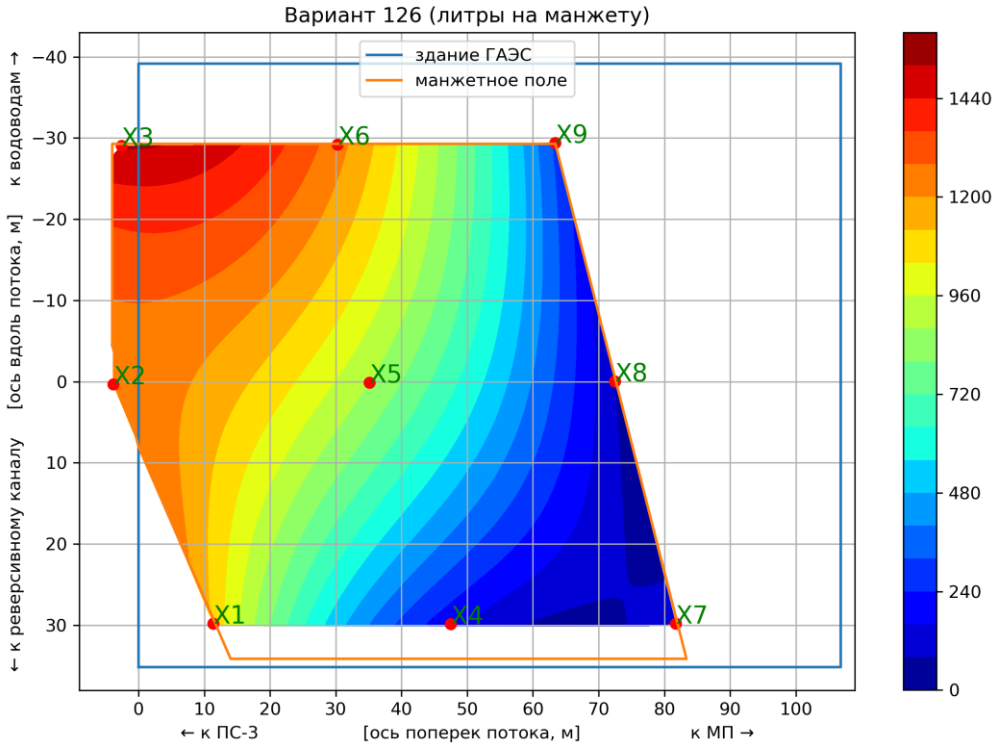


Рисунок Г.2.126.

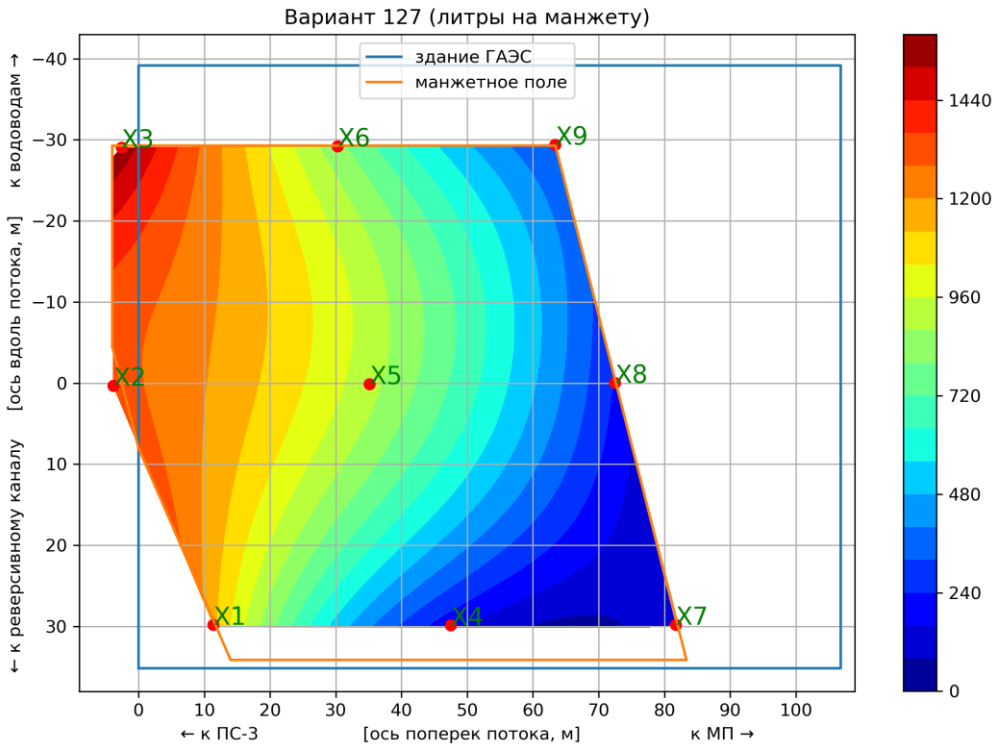


Рисунок Г.2.127.

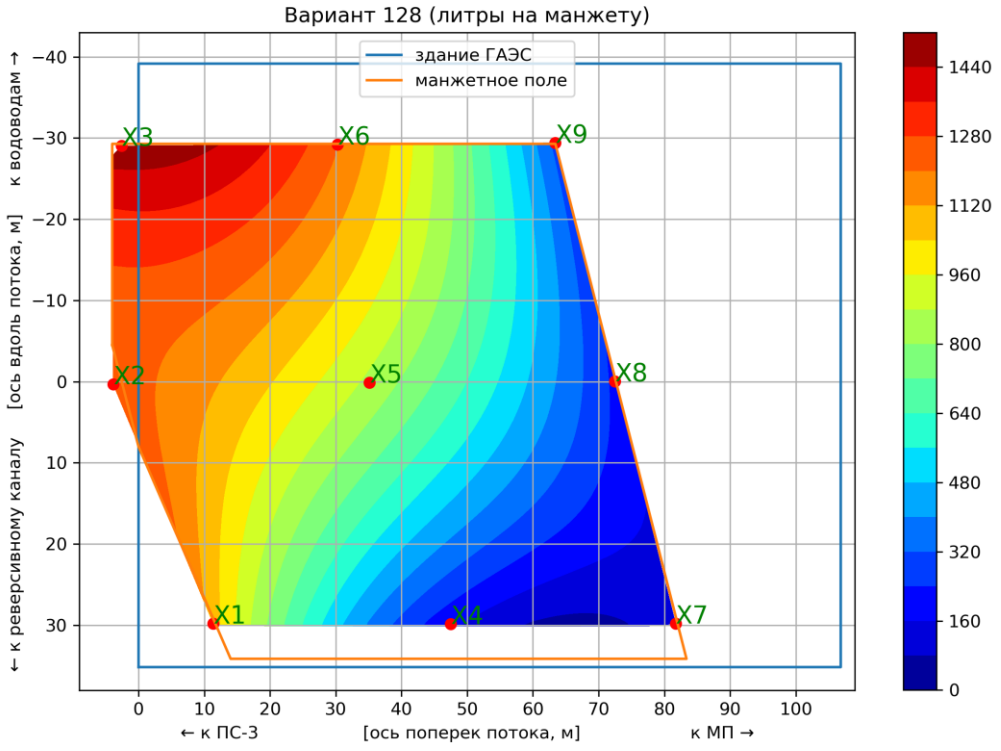


Рисунок Г.2.128.

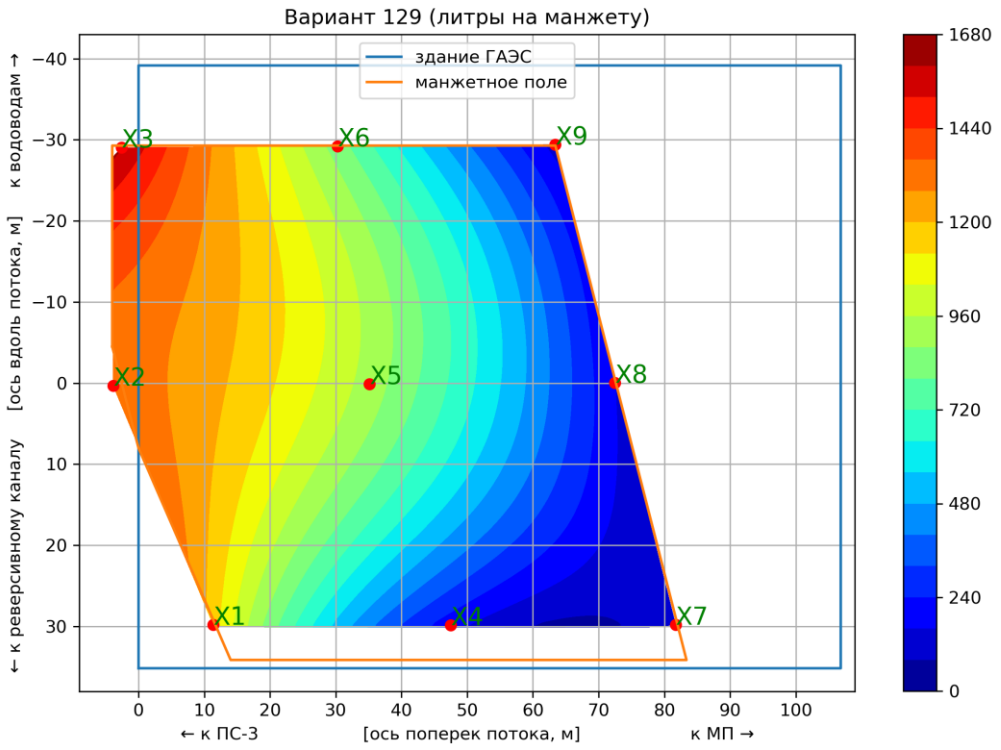


Рисунок Г.2.129.

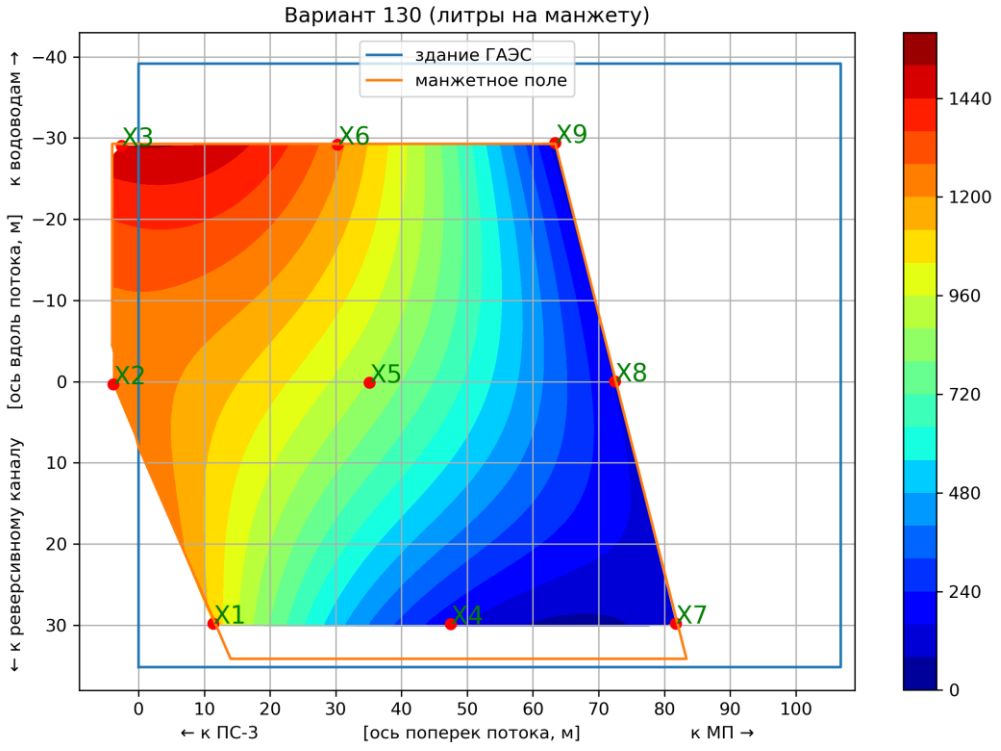


Рисунок Г.2.130.

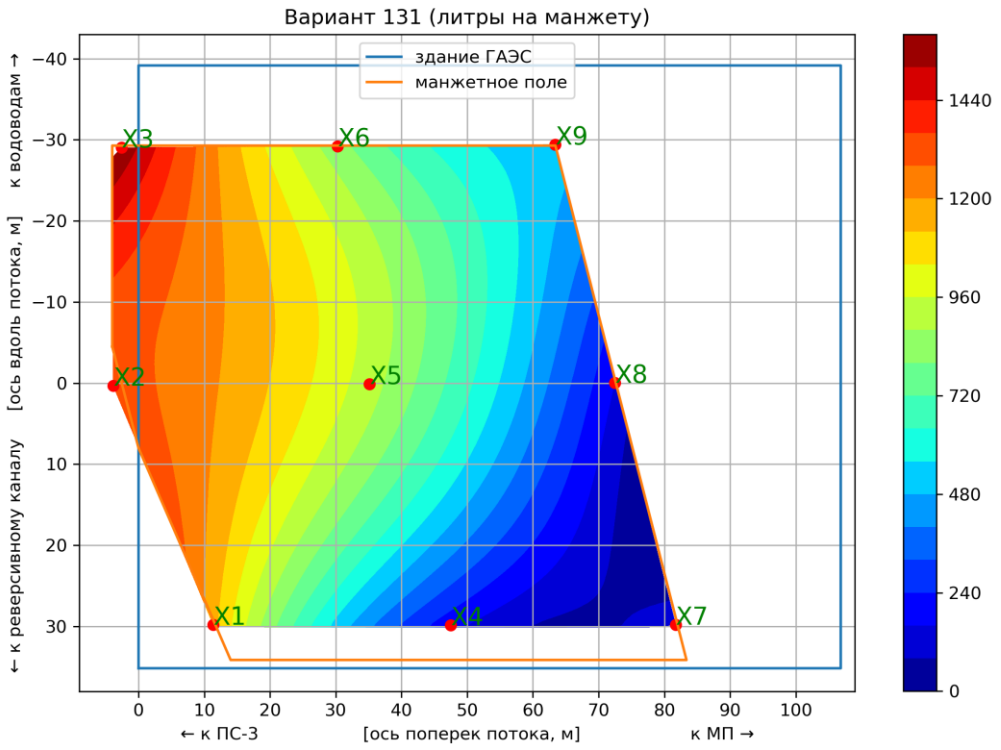


Рисунок Г.2.131.

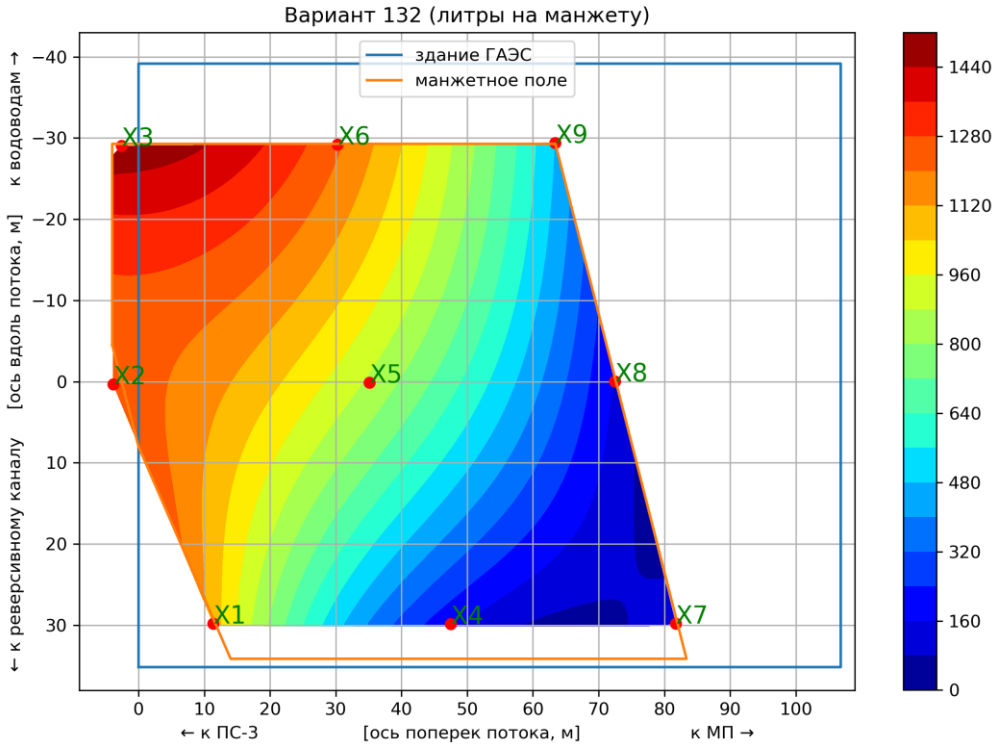


Рисунок Г.2.132.

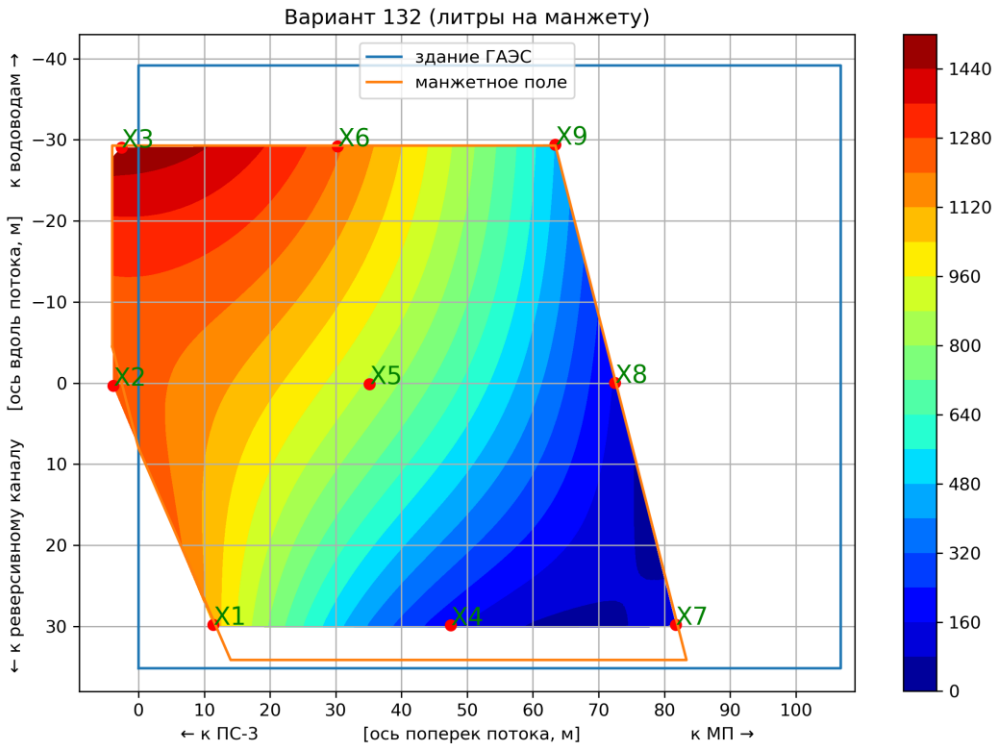


Рисунок Г.2.133.

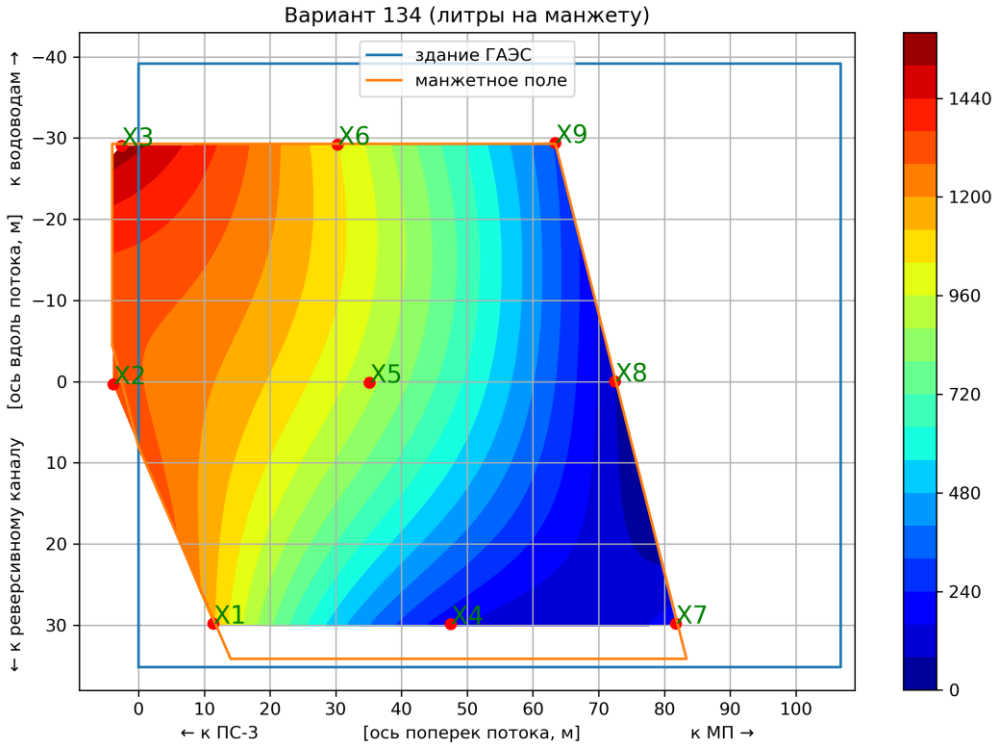


Рисунок Г.2.134.

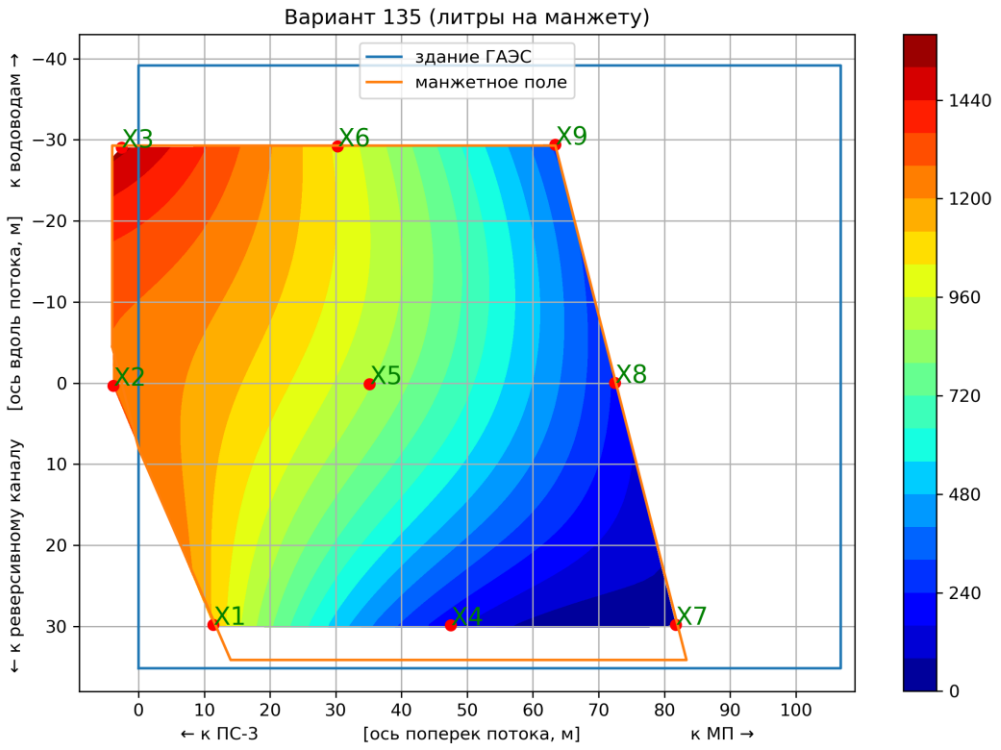


Рисунок Г.2.135.

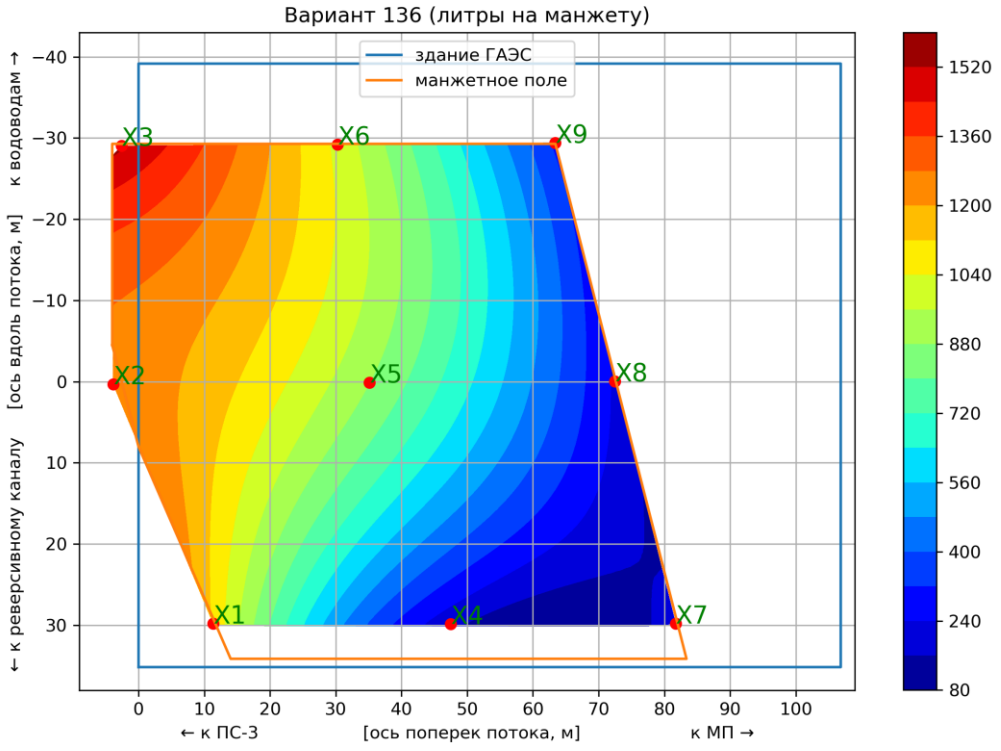


Рисунок Г.2.136.

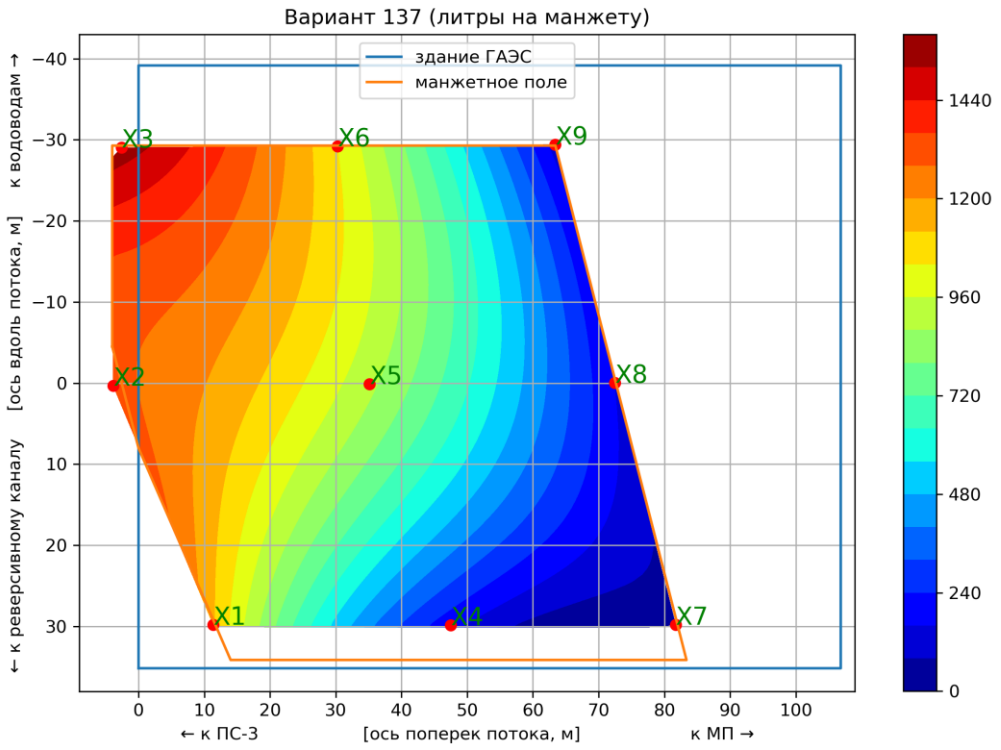


Рисунок Г.2.137.

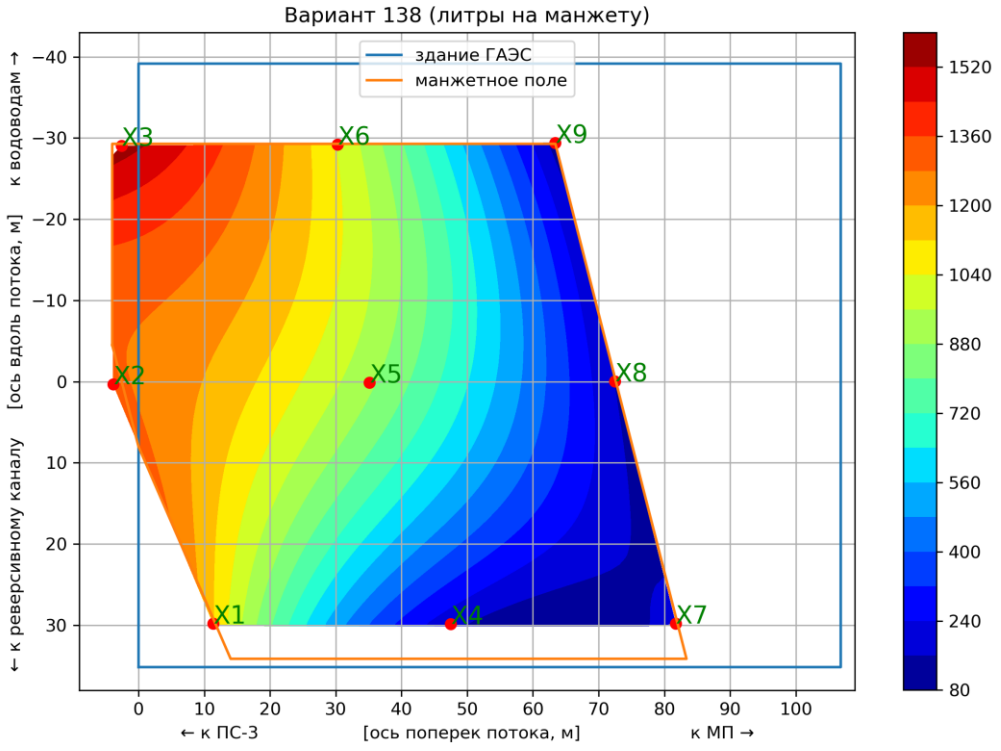


Рисунок Г.2.138.

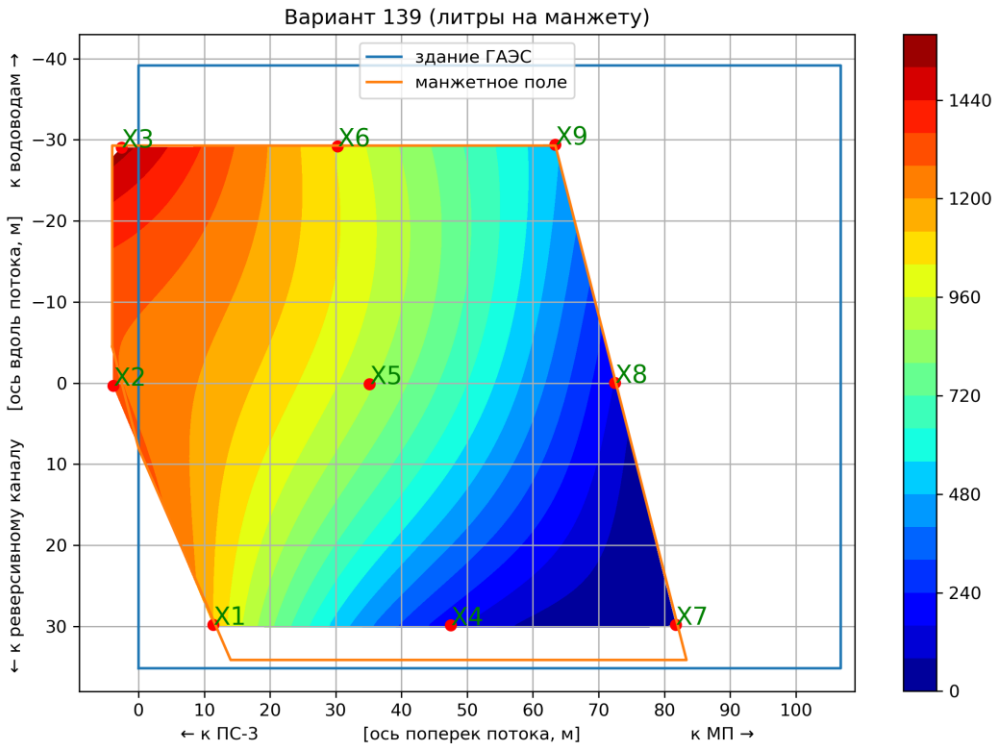


Рисунок Г.2.139.

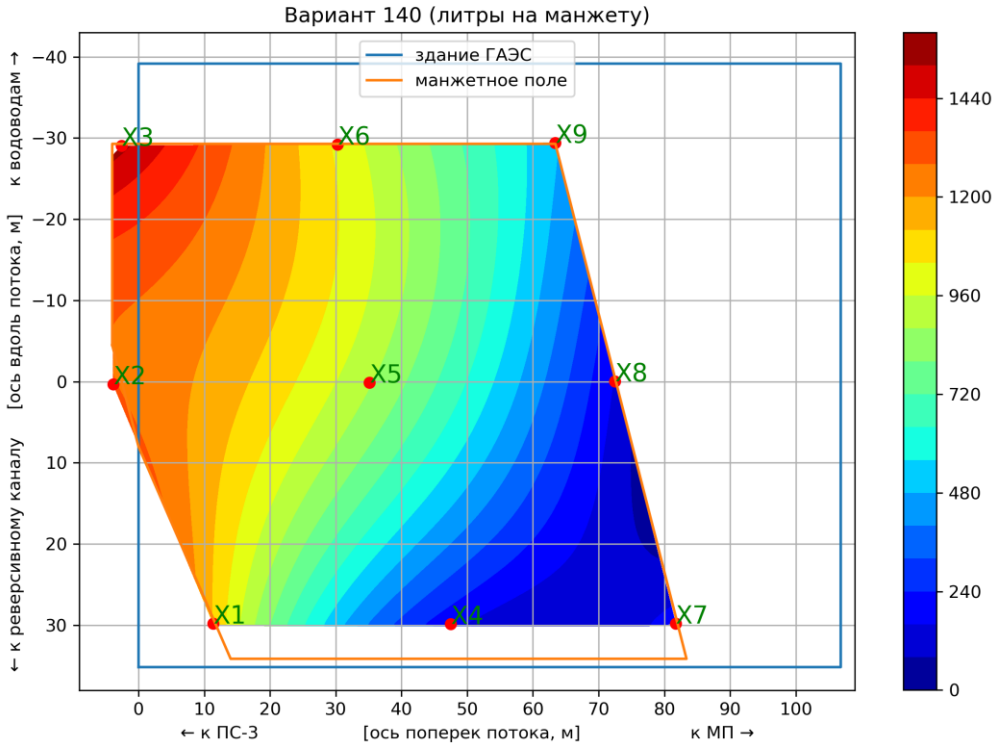


Рисунок Г.2.140.

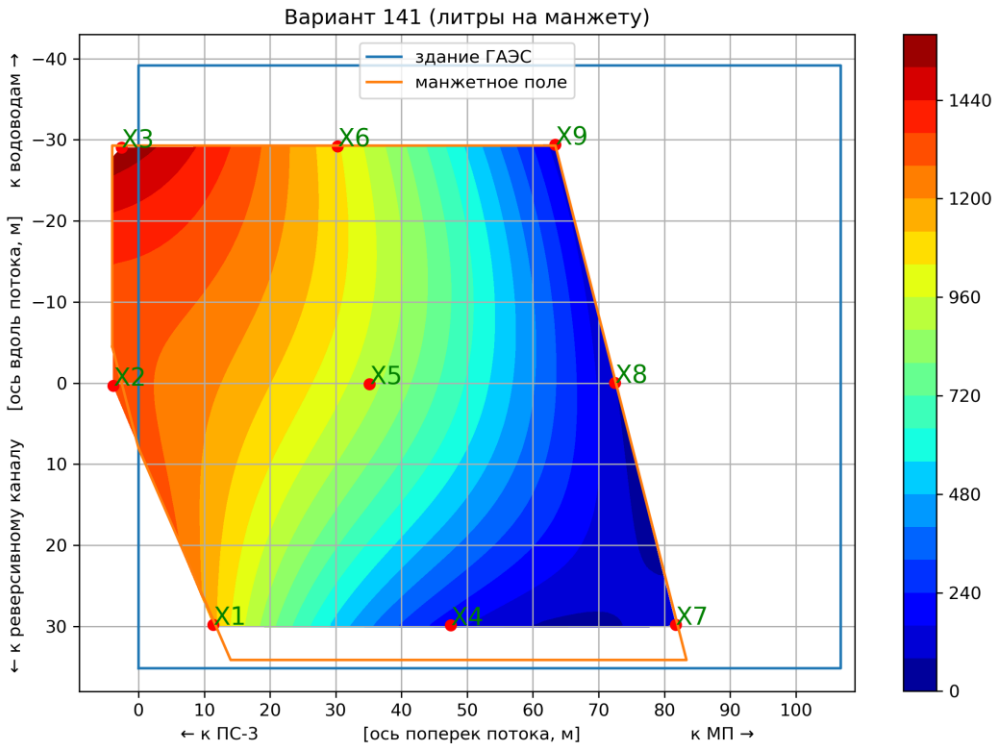


Рисунок Г.2.141.

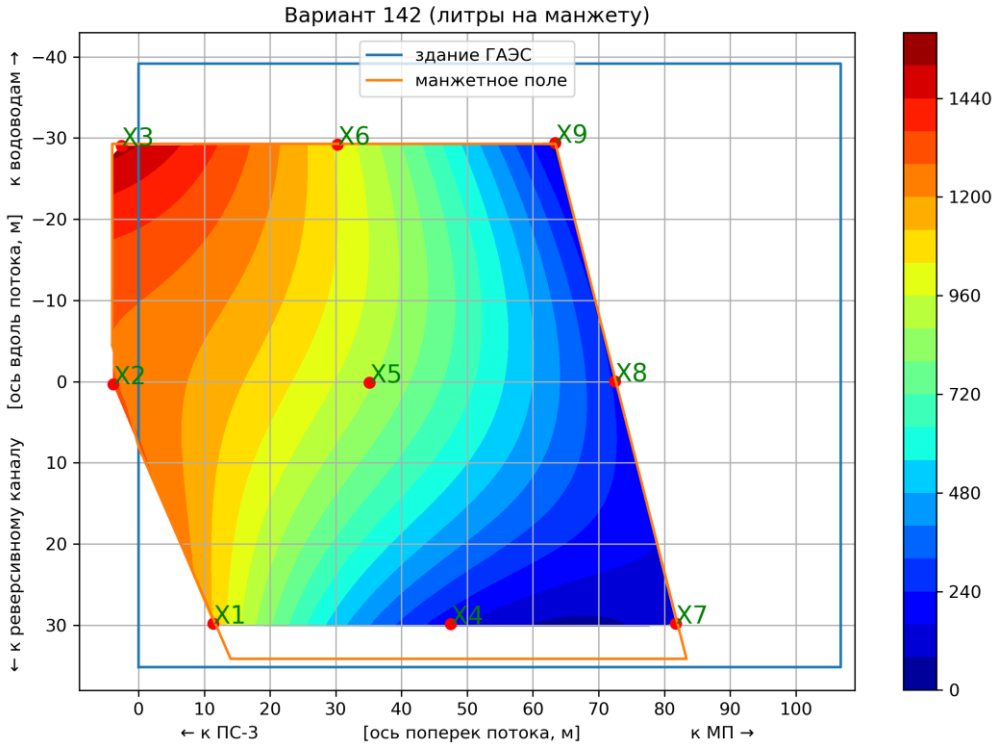


Рисунок Г.2.142.

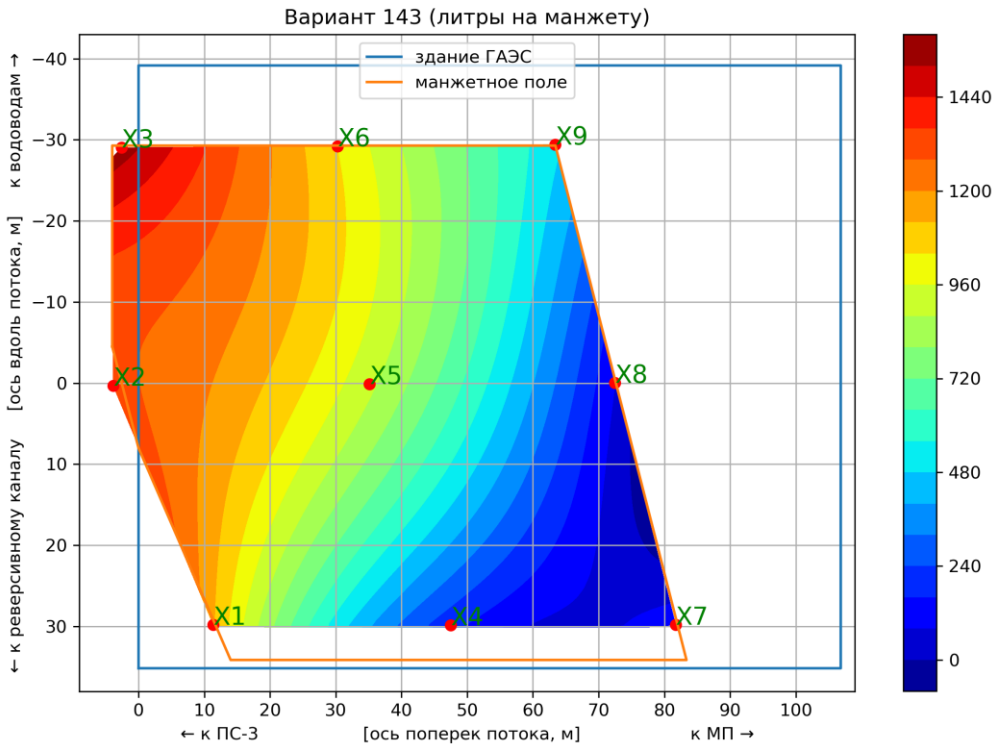


Рисунок Г.2.143.

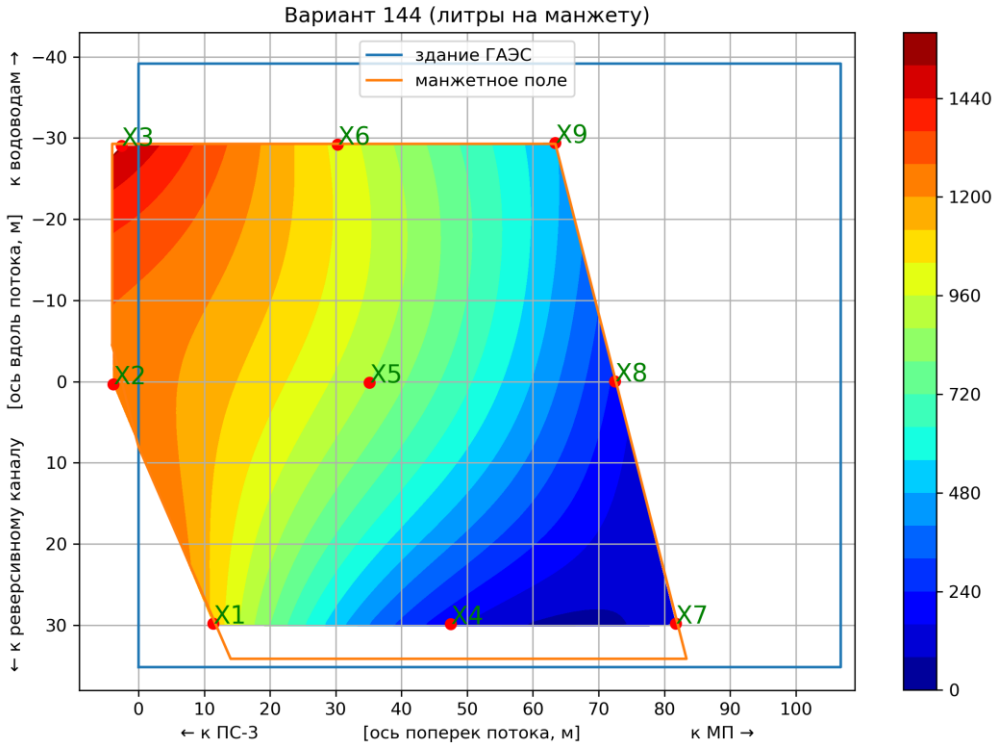


Рисунок Г.2.144.

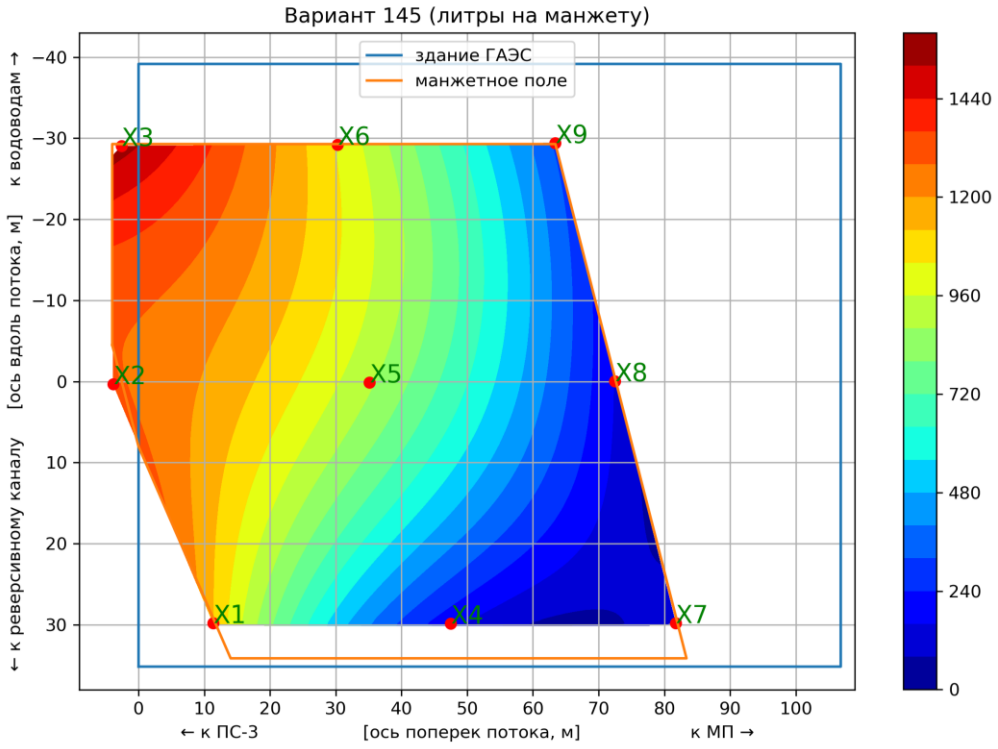


Рисунок Г.2.145.

Г.3. Варьирование холмообразного распределения объемов компенсационного раствора по теории планирования эксперимента

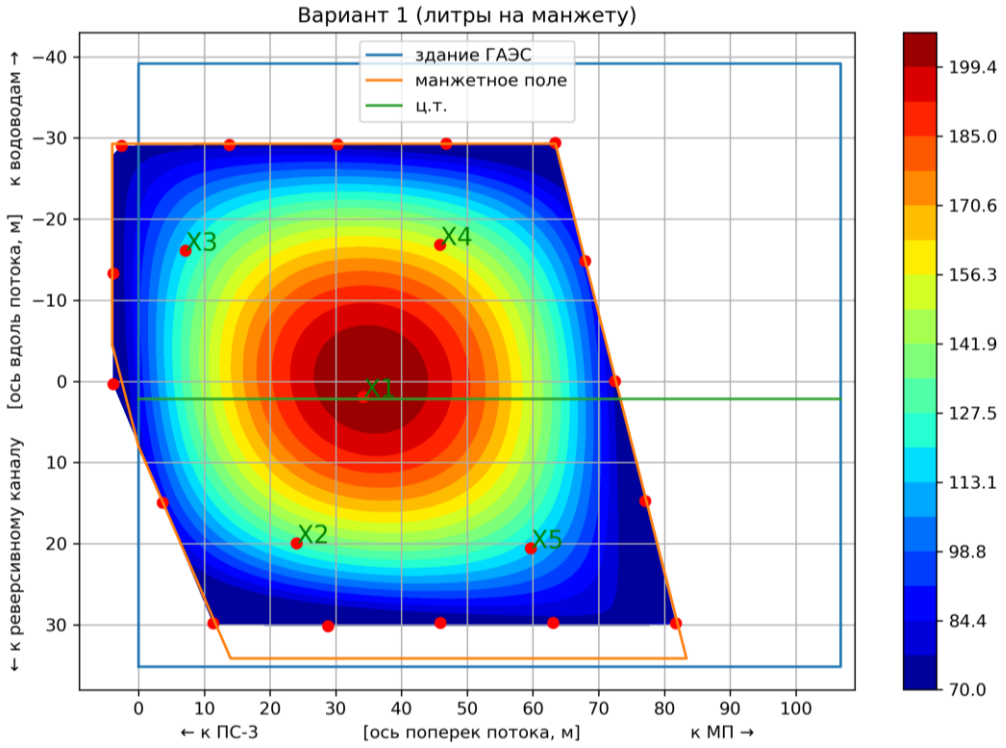


Рисунок Г.3.1.

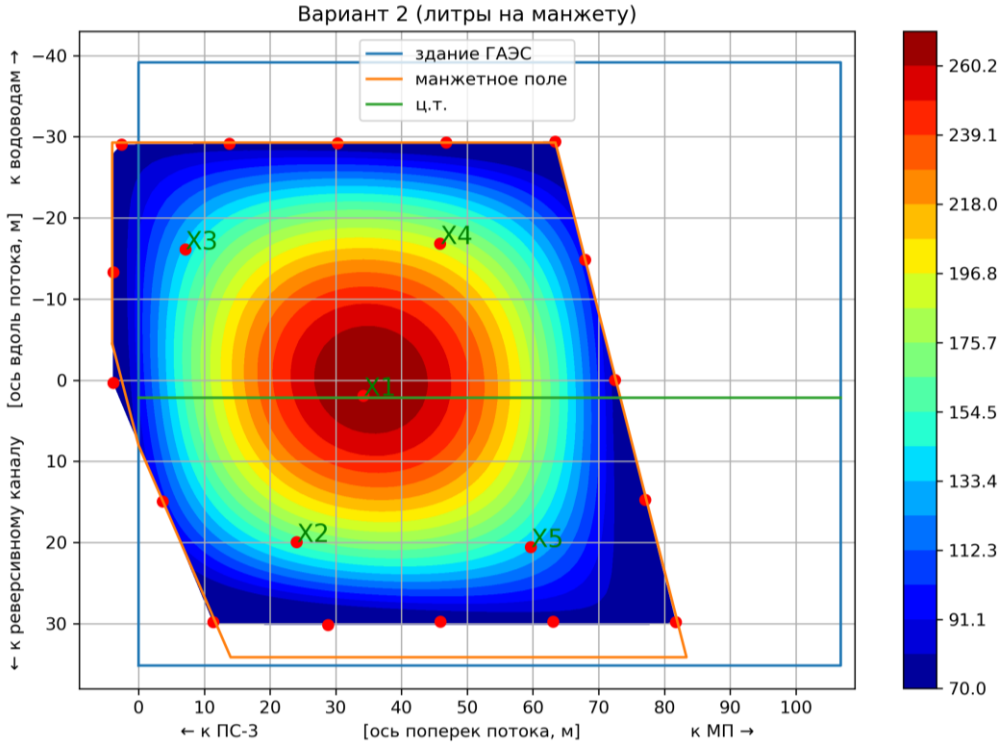


Рисунок Г.3.2.

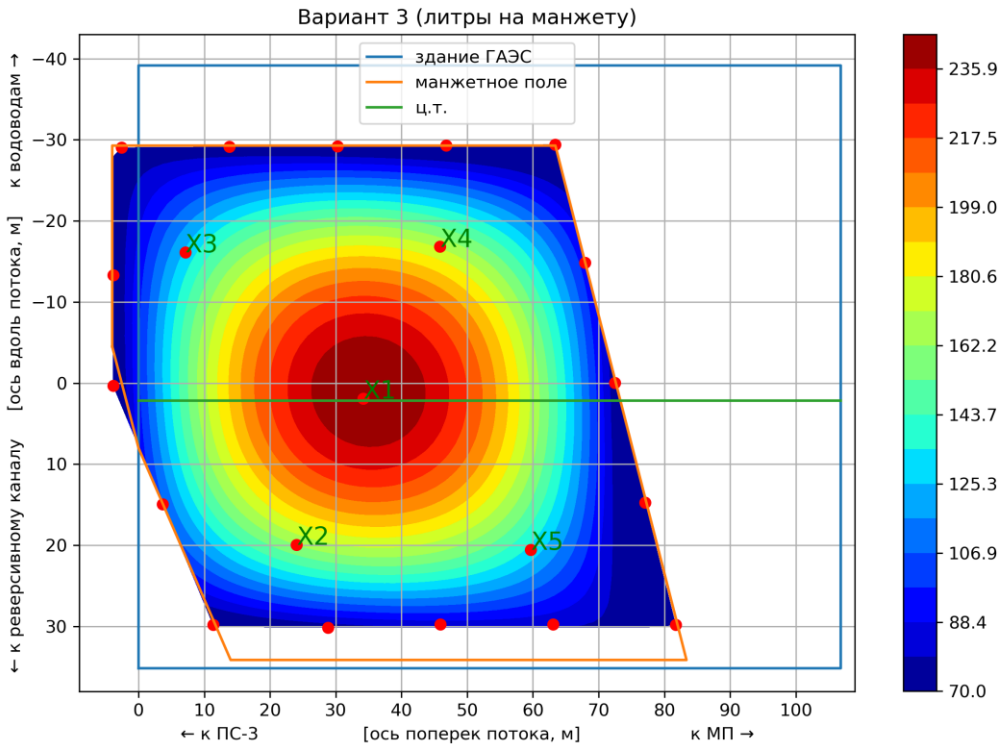


Рисунок Г.3.3.

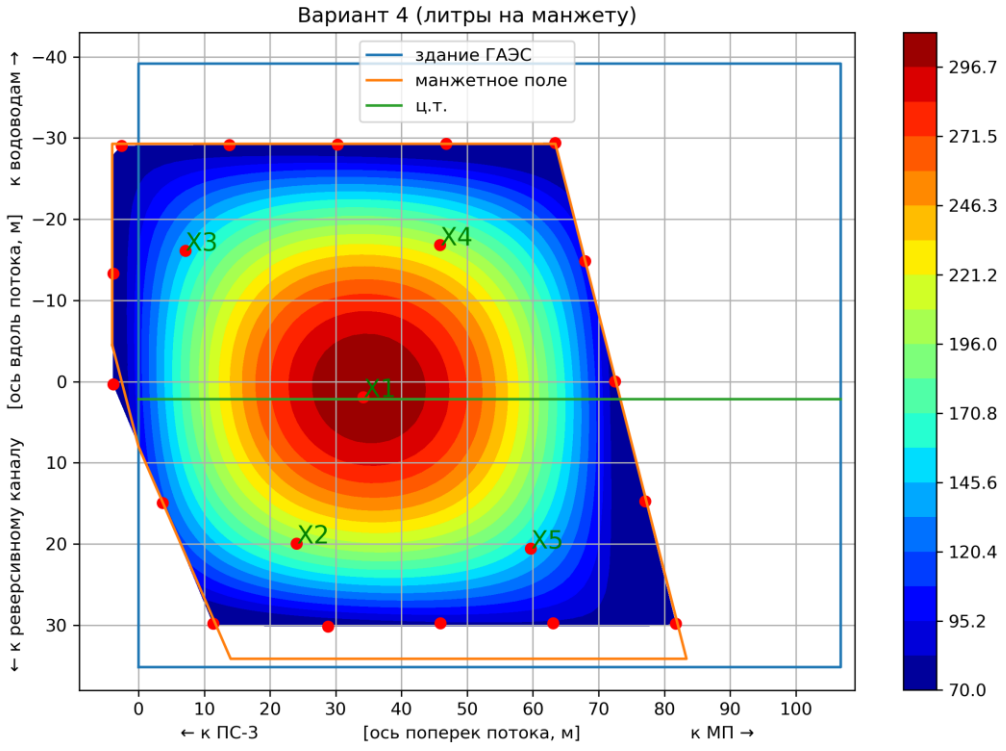


Рисунок Г.3.4.

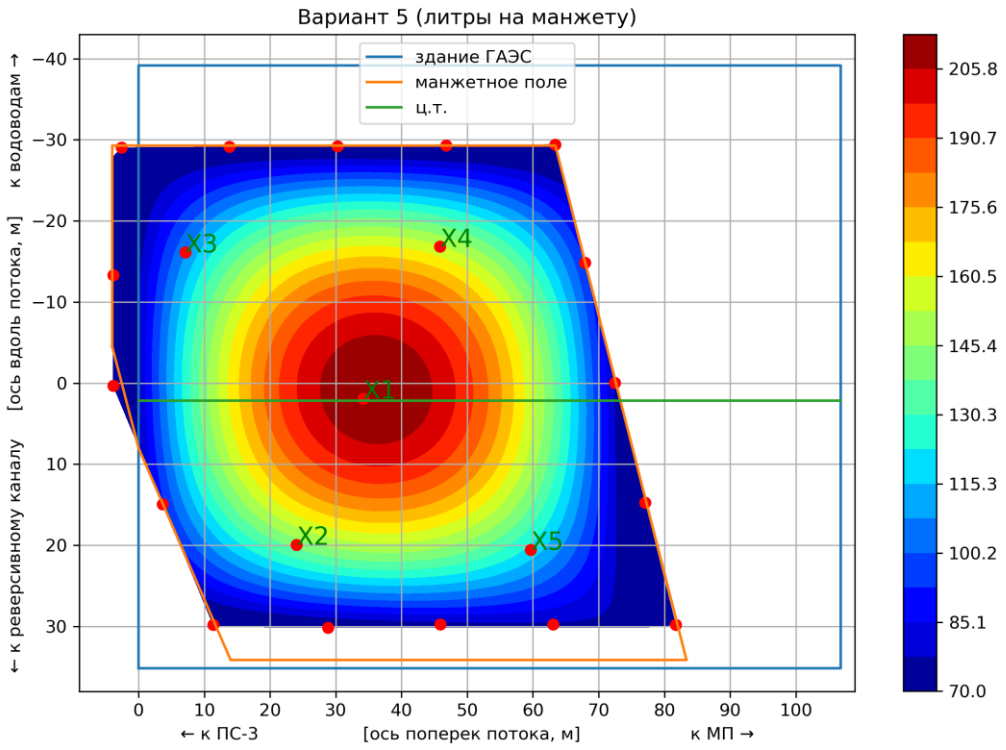


Рисунок Г.3.5.

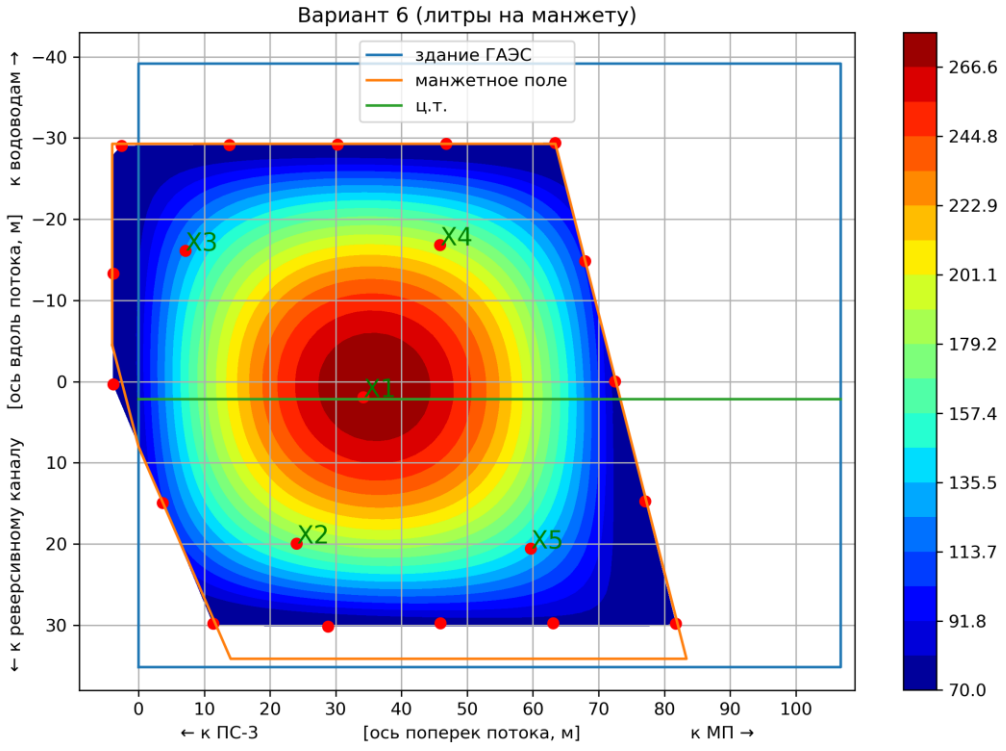


Рисунок Г.3.6.

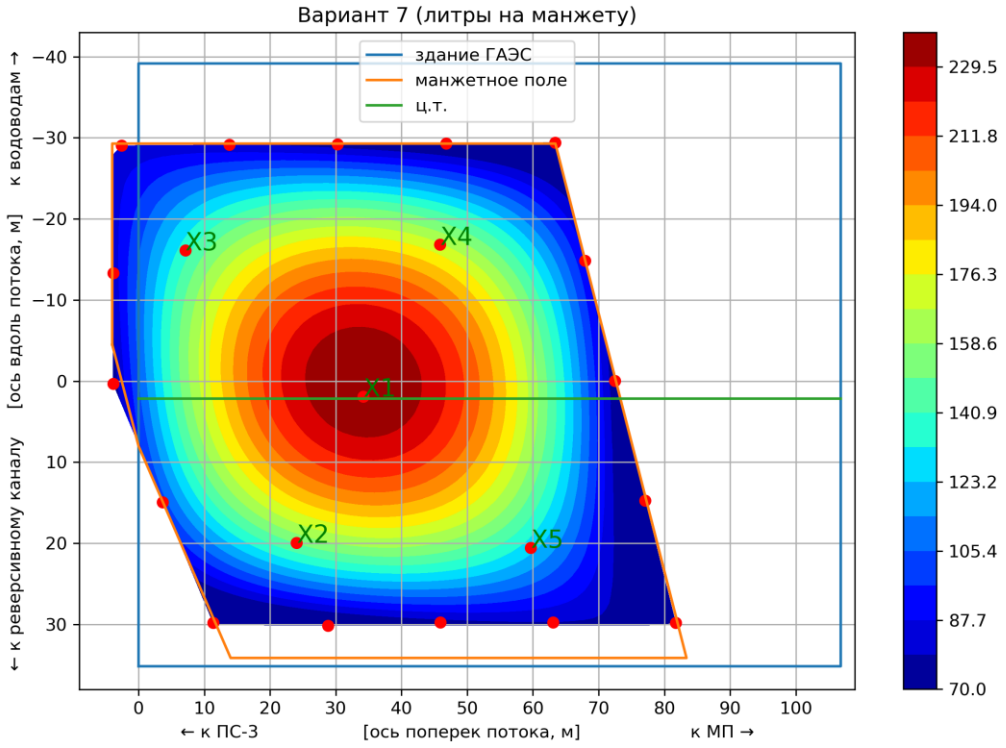


Рисунок Г.3.7.

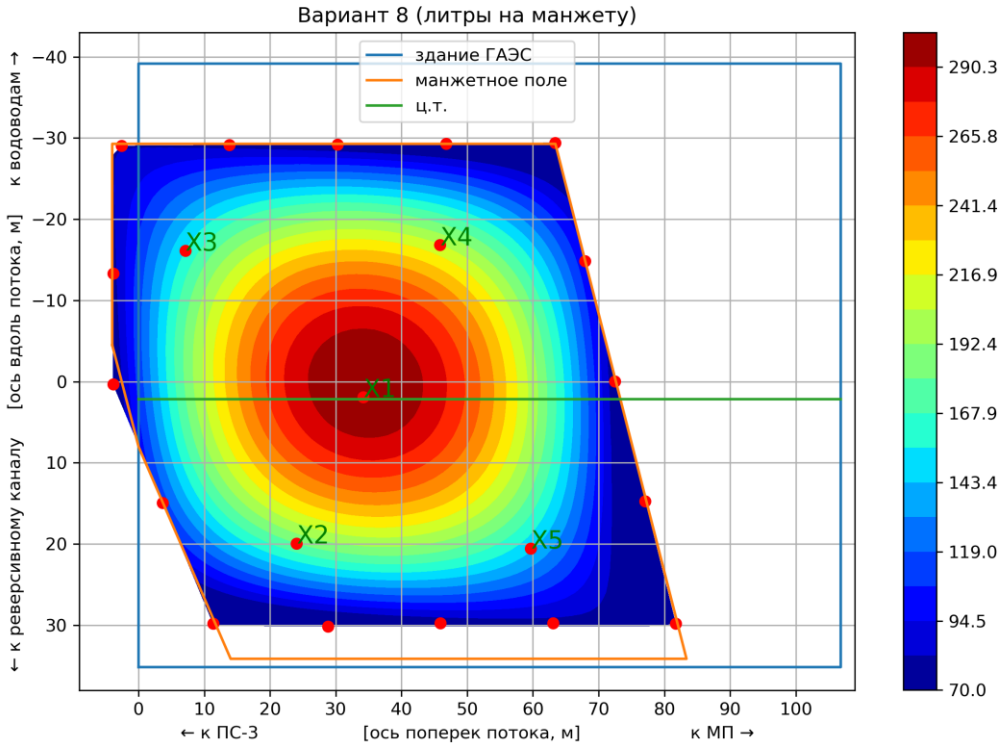


Рисунок Г.3.8.

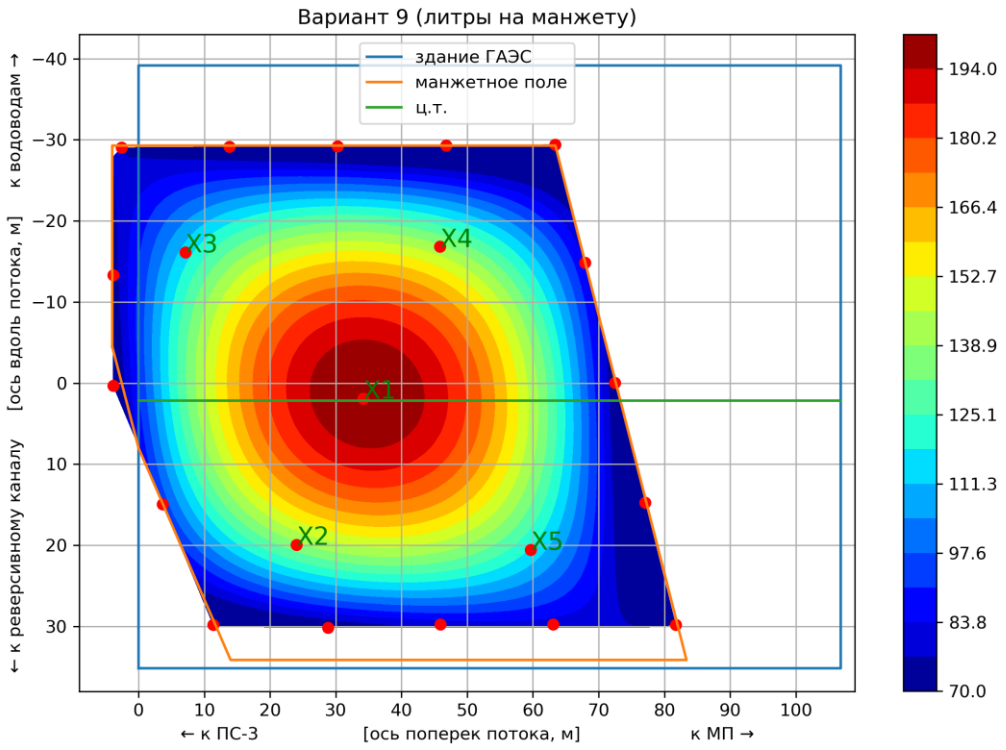


Рисунок Г.3.9.

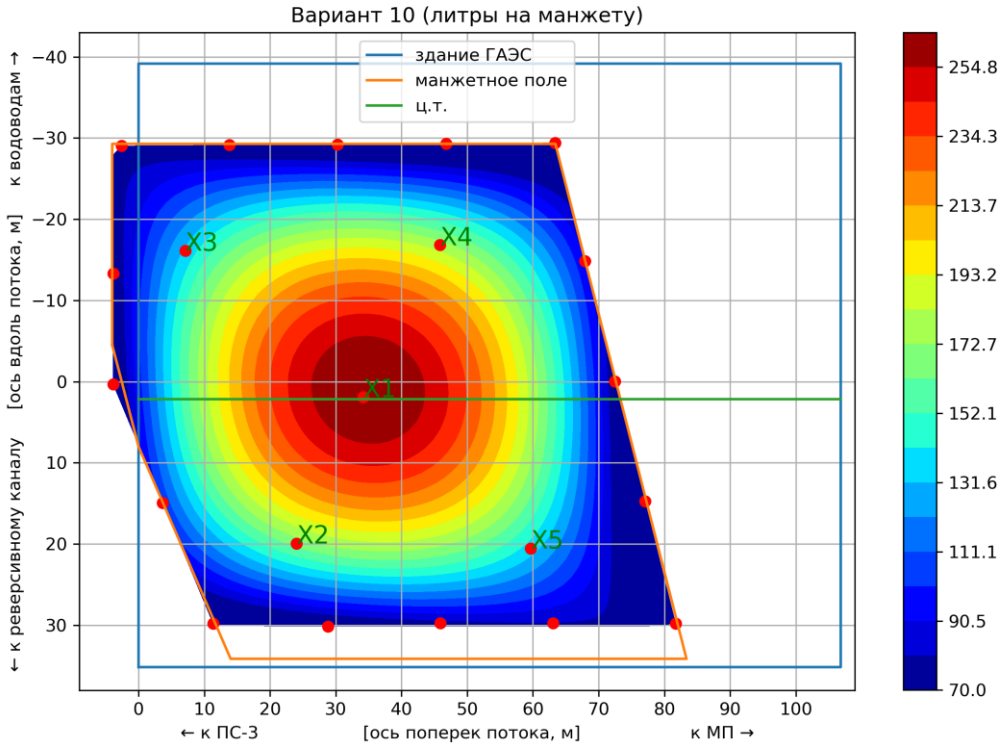


Рисунок Г.3.10.

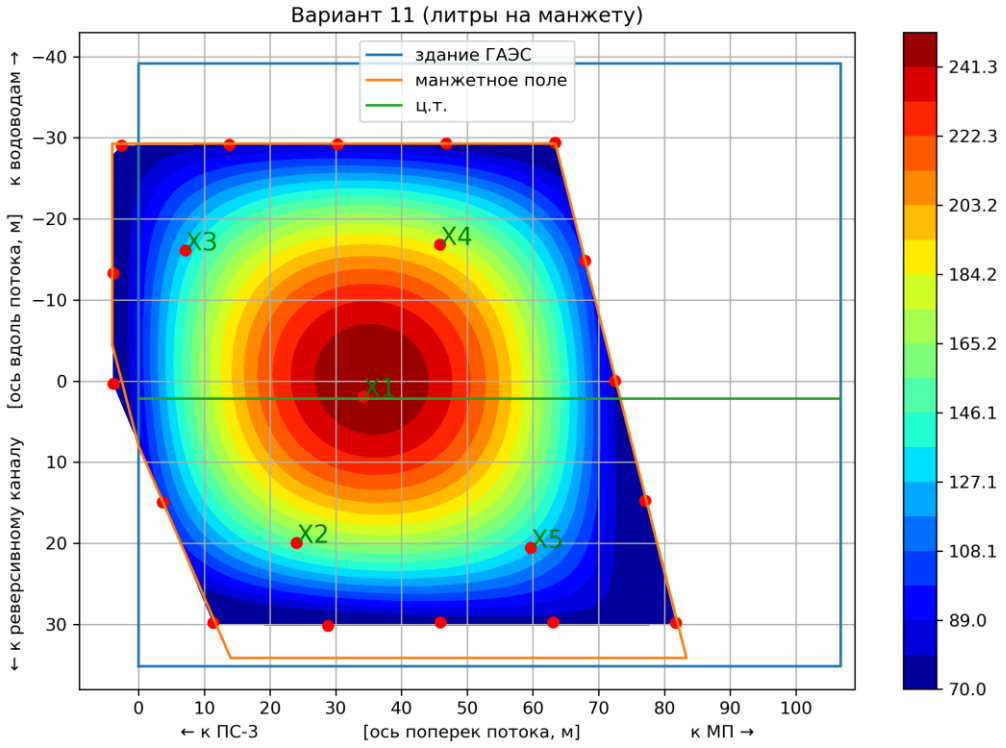


Рисунок Г.3.11.

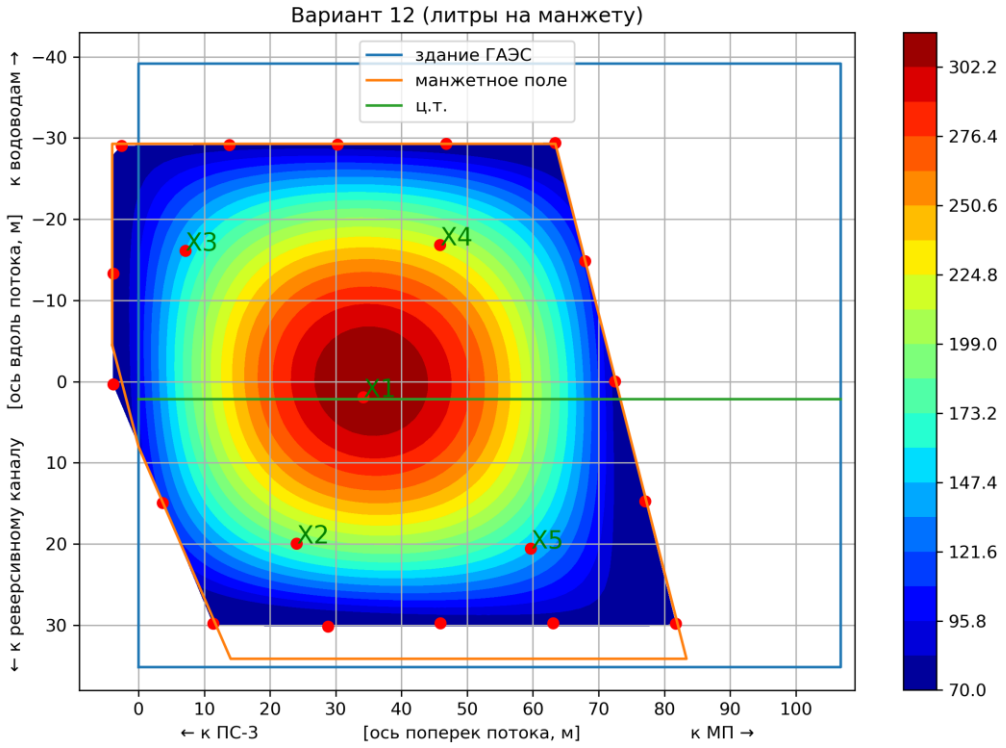


Рисунок Г.3.12.

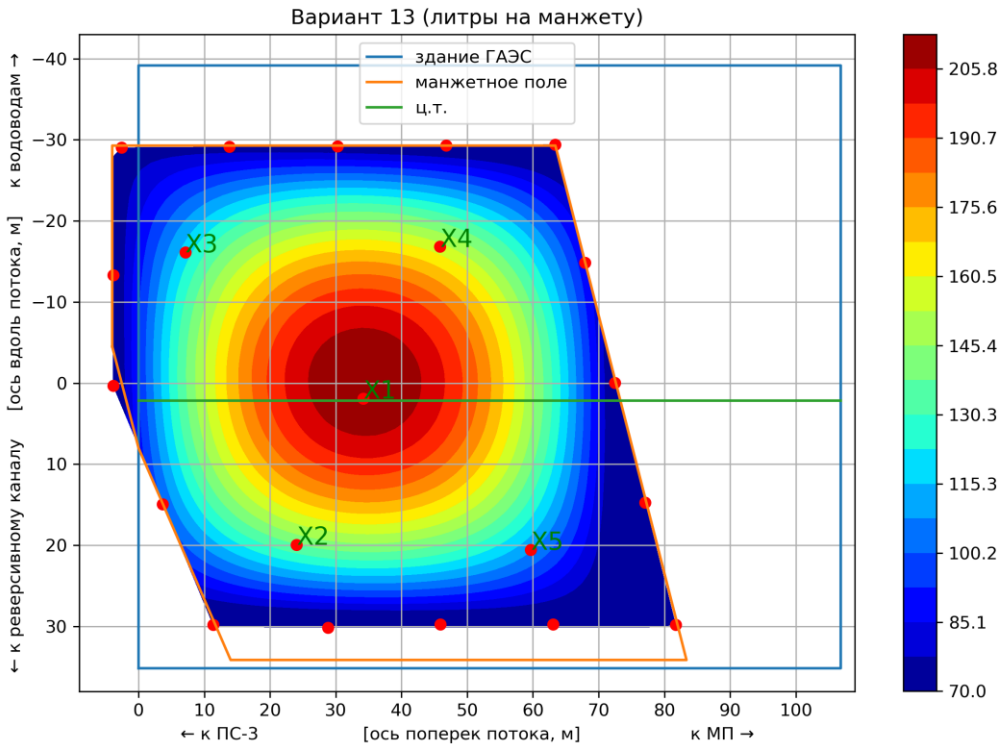


Рисунок Г.3.13.

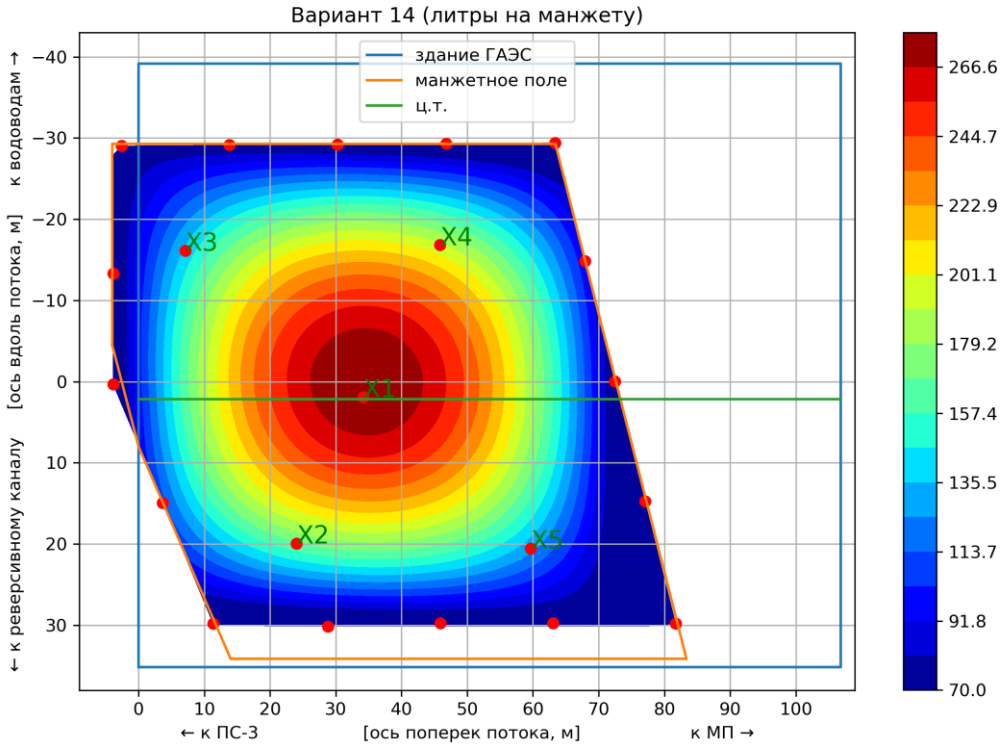


Рисунок Г.3.14.

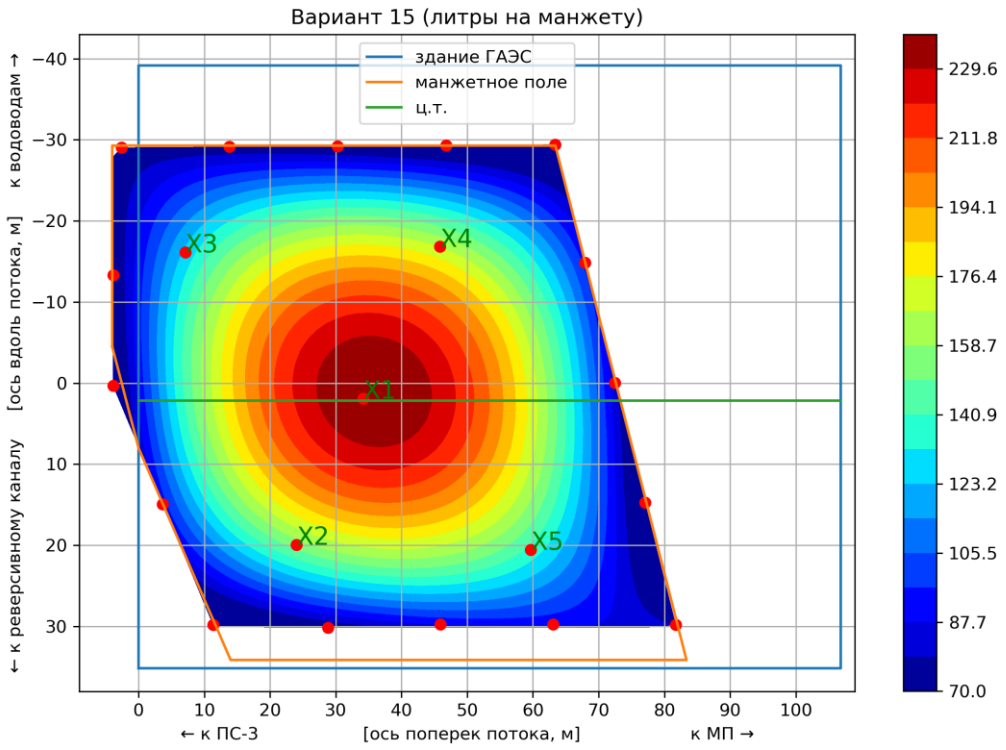


Рисунок Г.3.15.

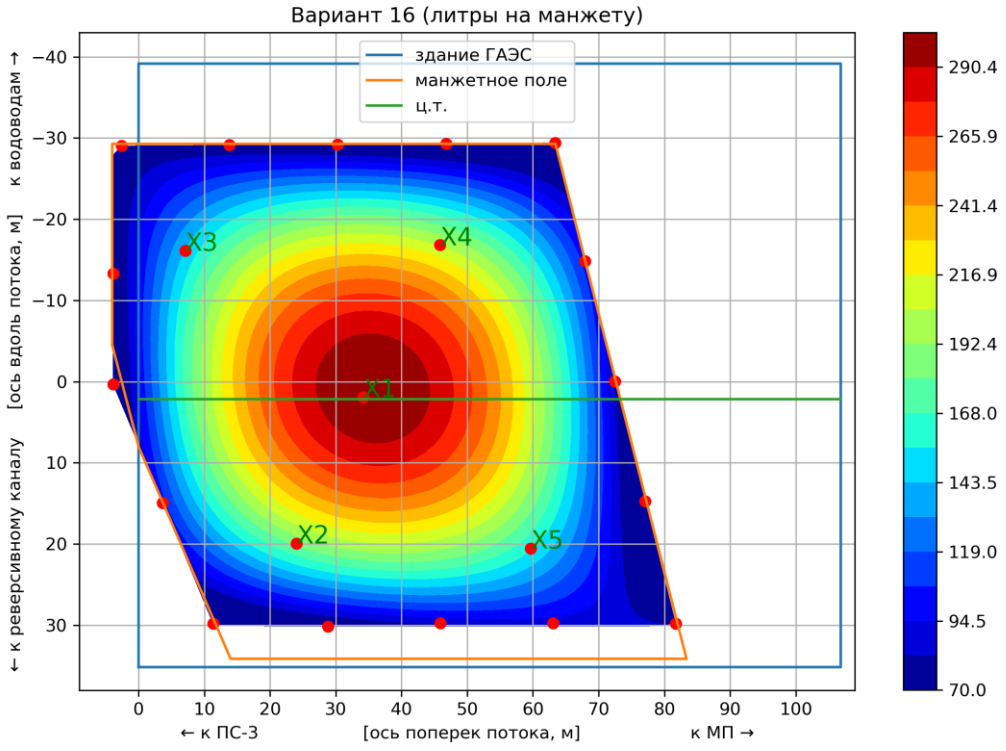


Рисунок Г.3.16.

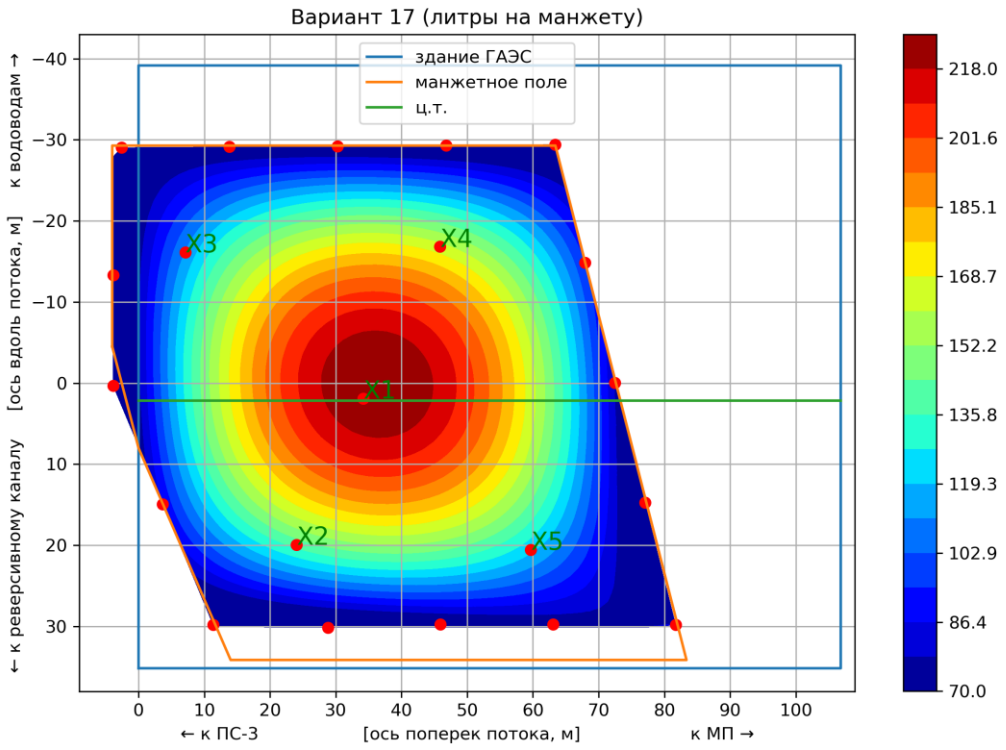


Рисунок Г.3.17.

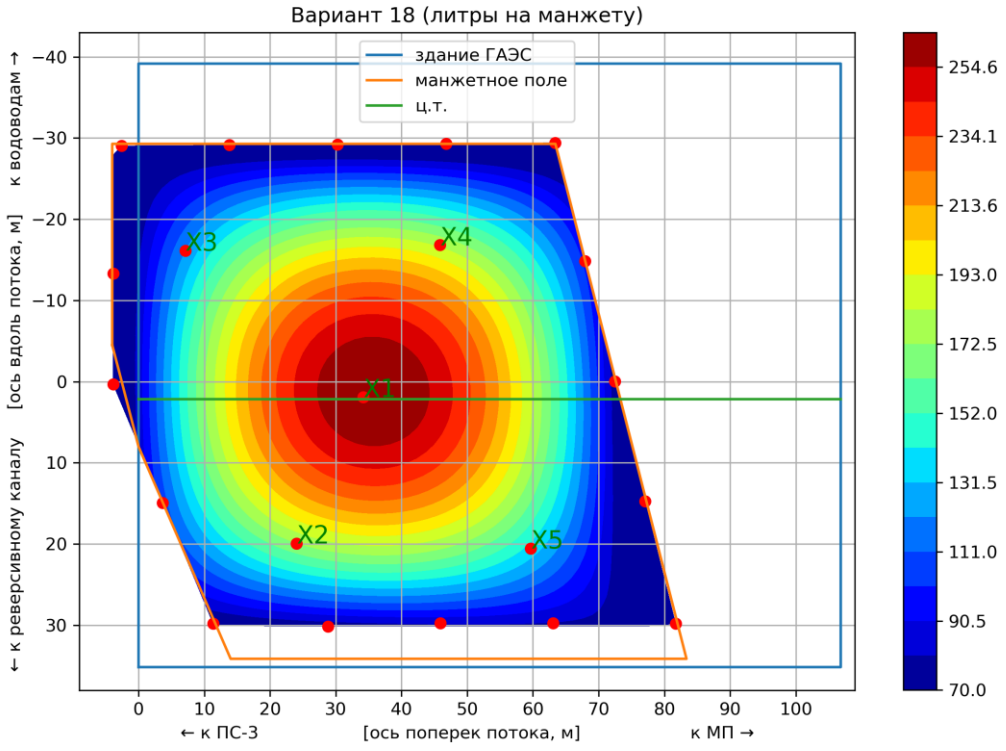


Рисунок Г.3.18.

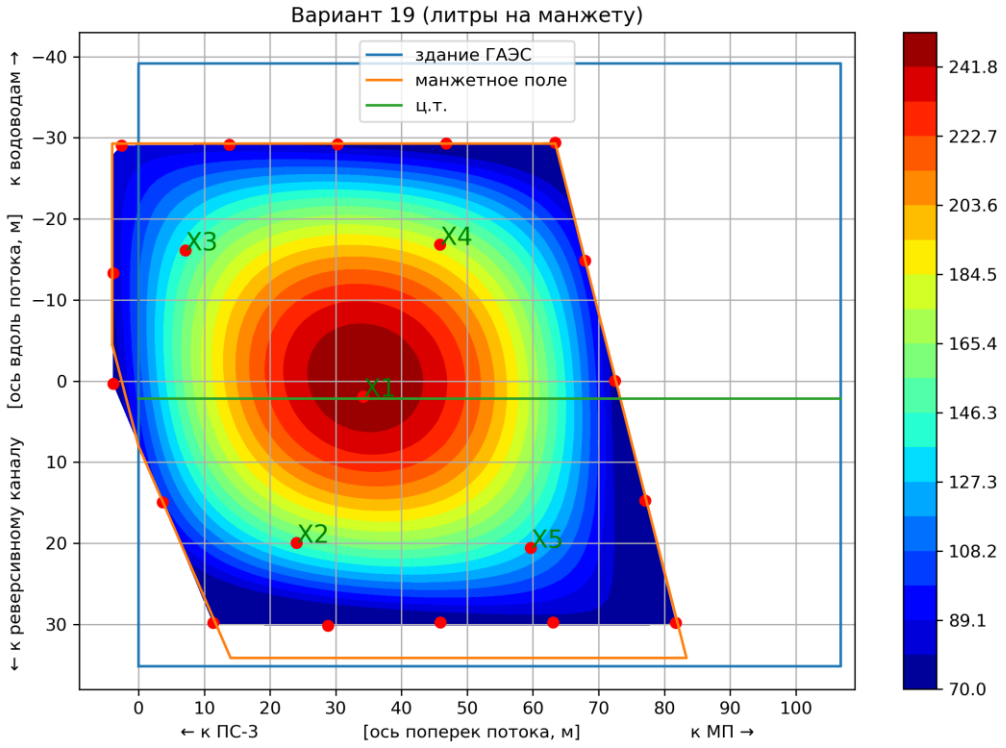


Рисунок Г.3.19.

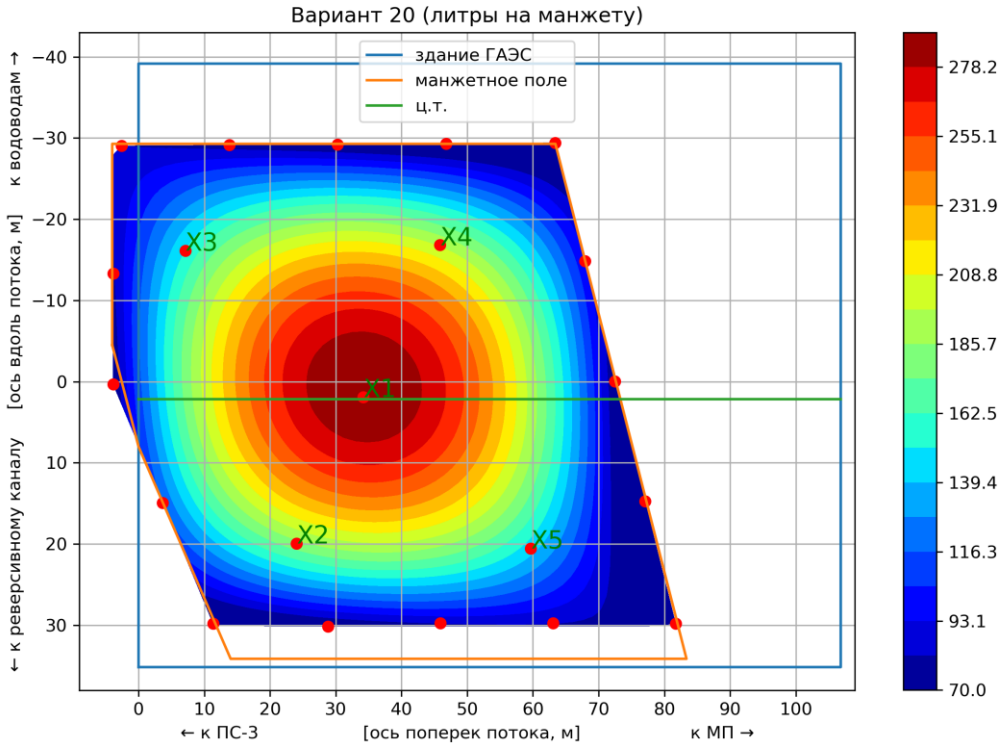


Рисунок Г.3.20.

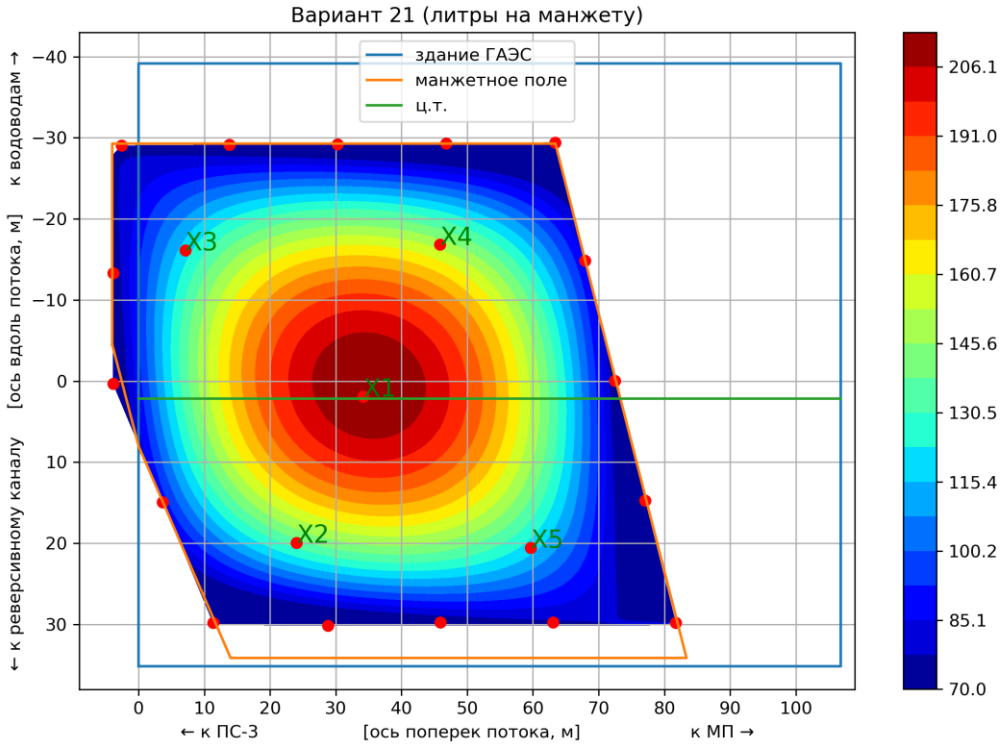


Рисунок Г.3.21.

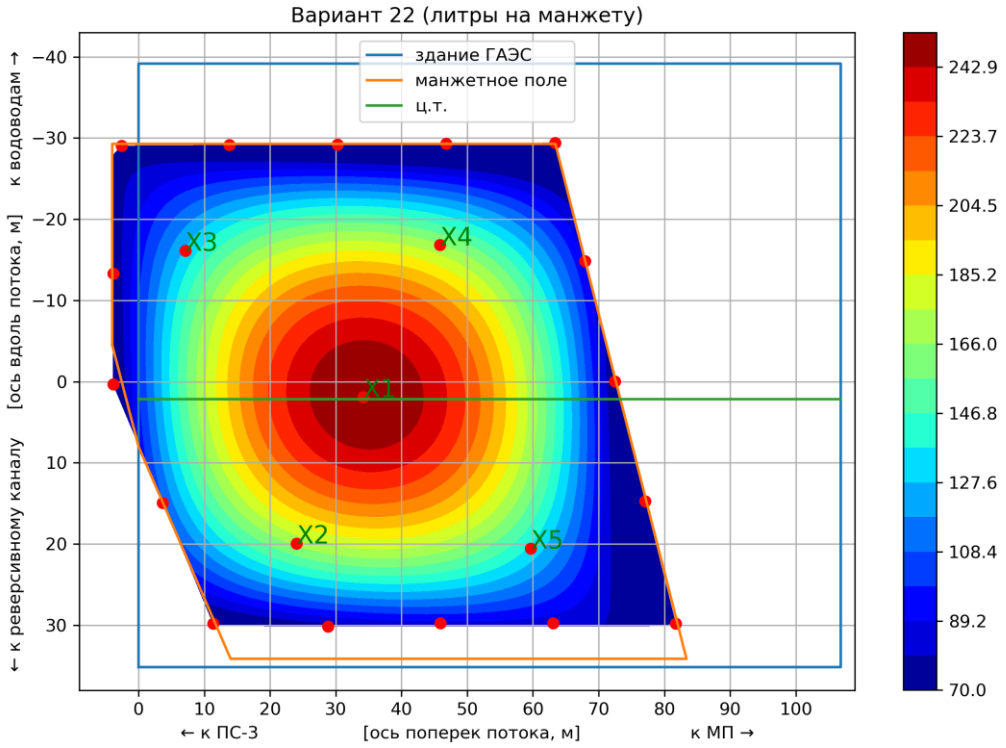


Рисунок Г.3.22.

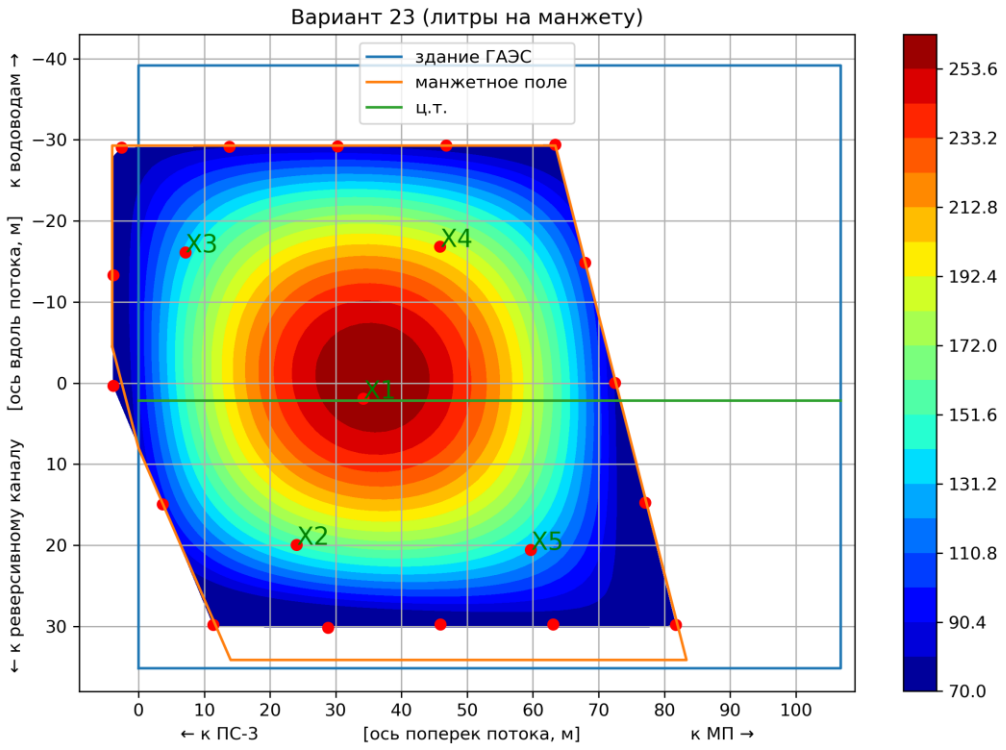


Рисунок Г.3.23.

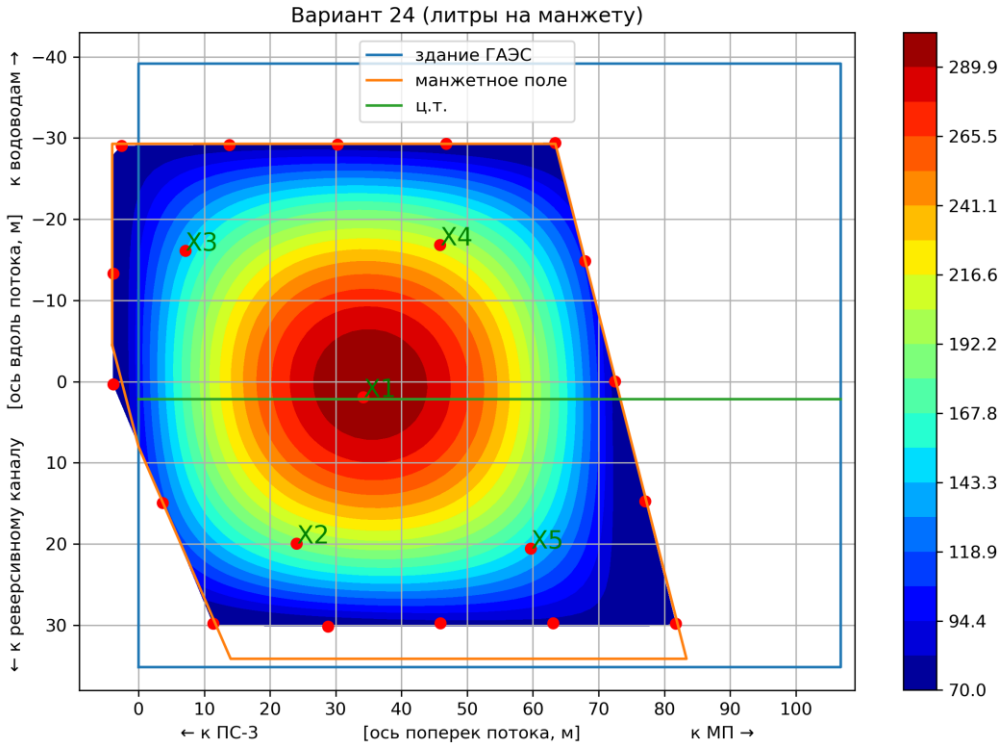


Рисунок Г.3.24.

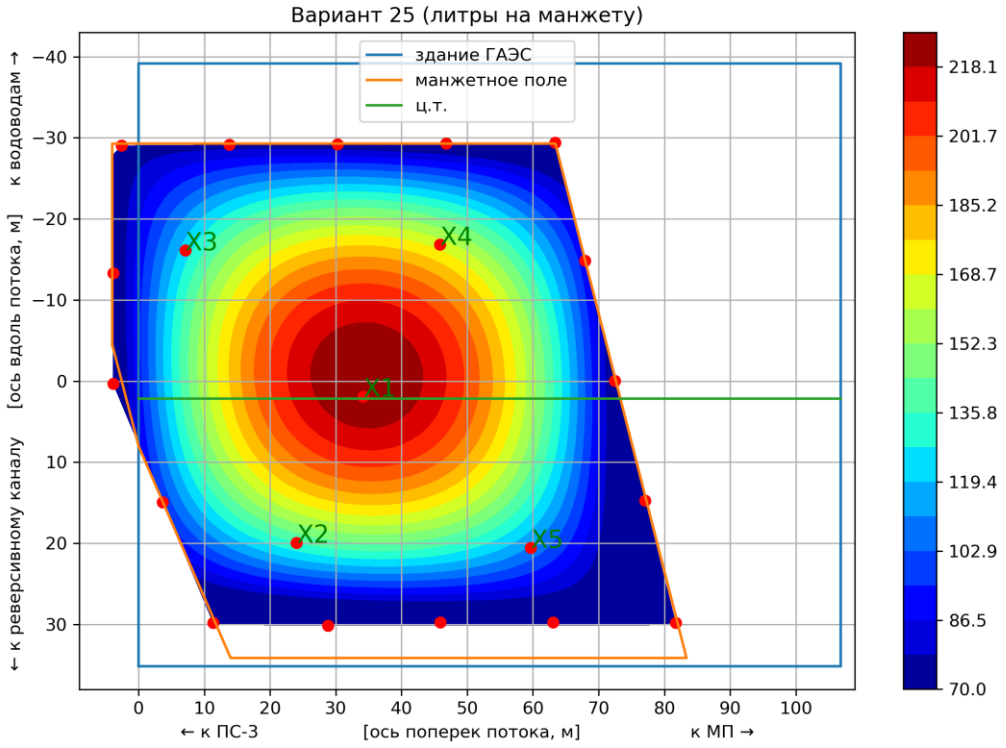


Рисунок Г.3.25.

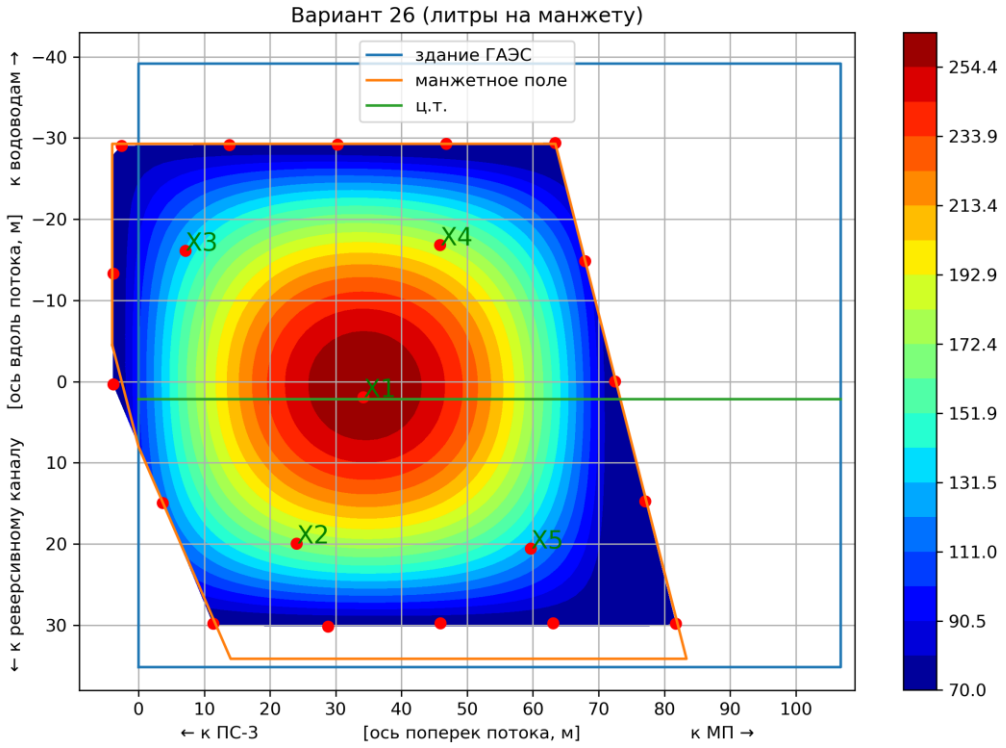


Рисунок Г.3.26.

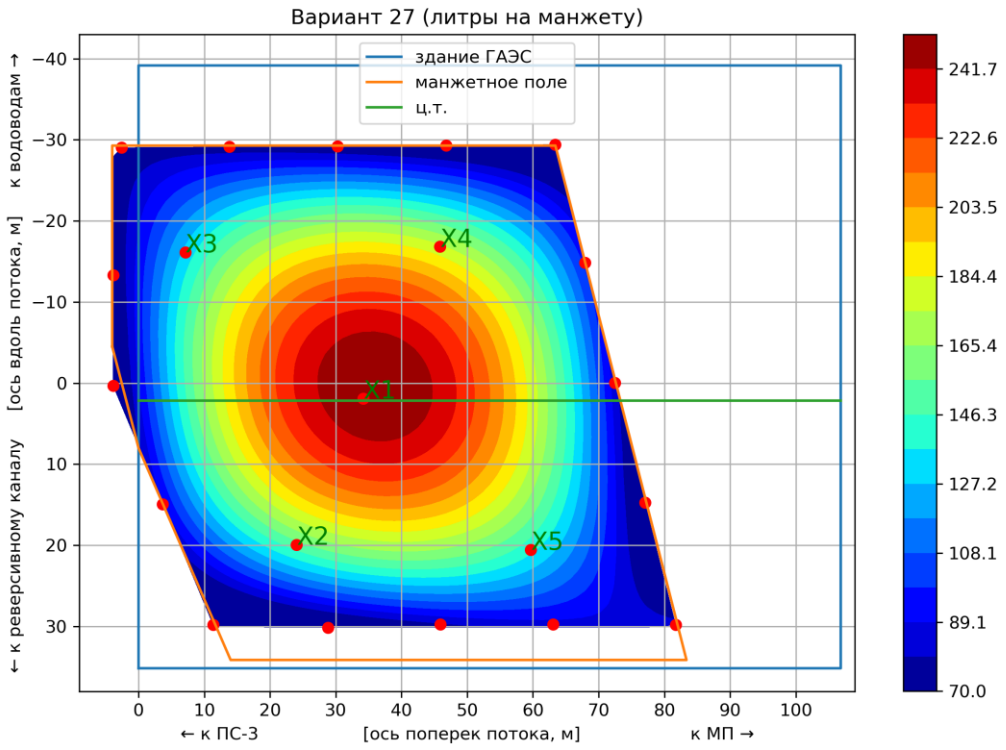


Рисунок Г.3.27.

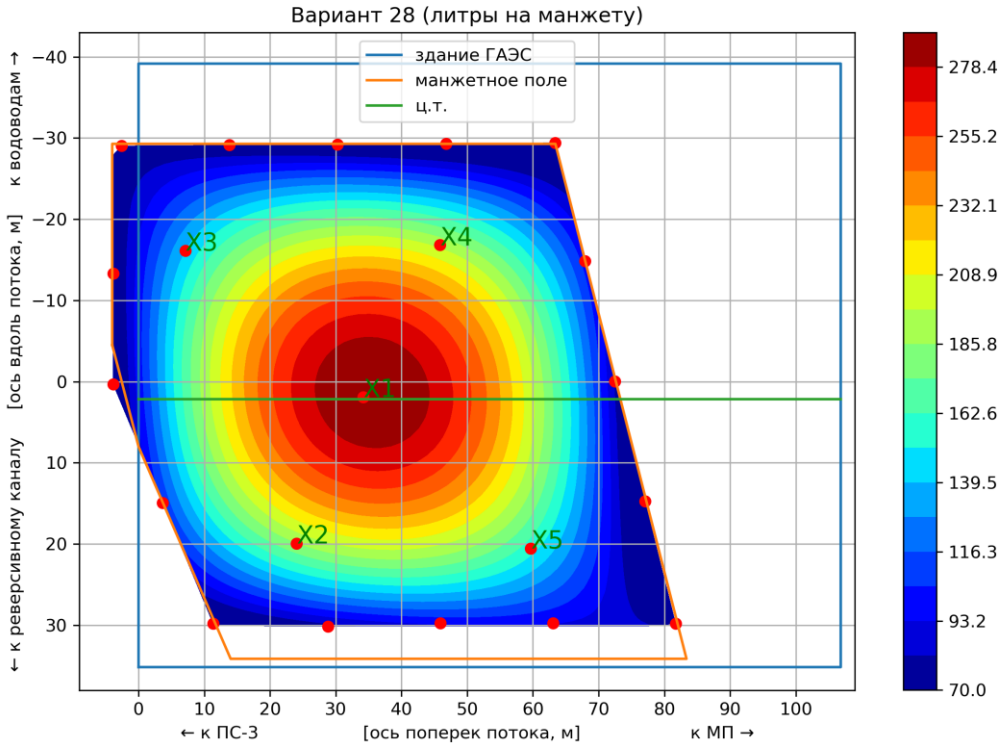


Рисунок Г.3.28.

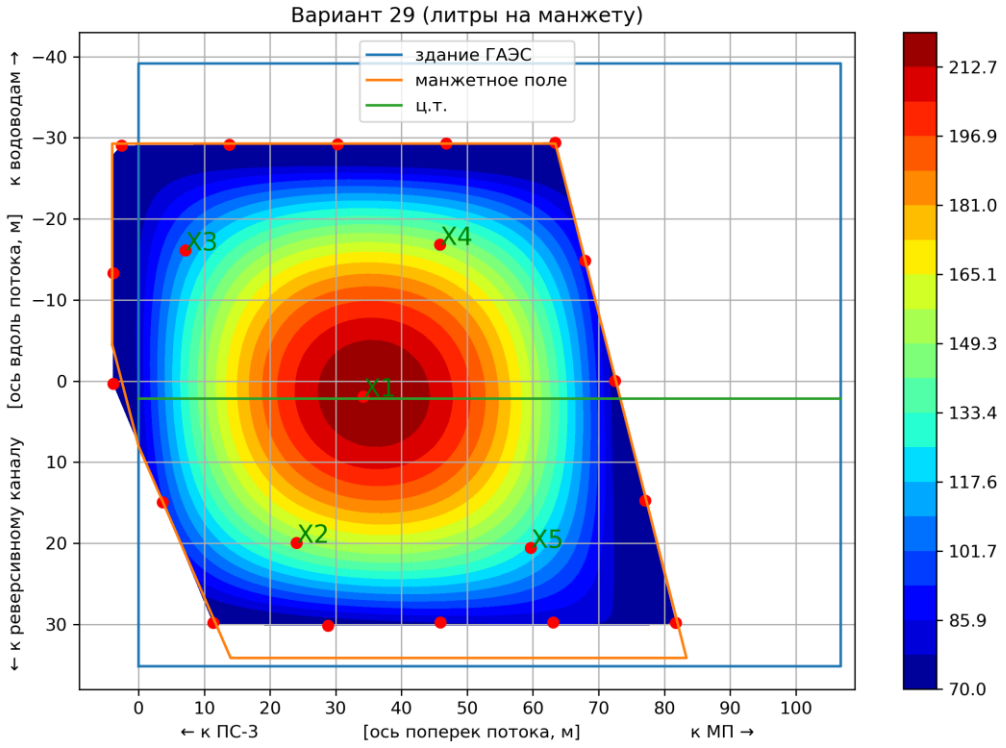


Рисунок Г.3.29.

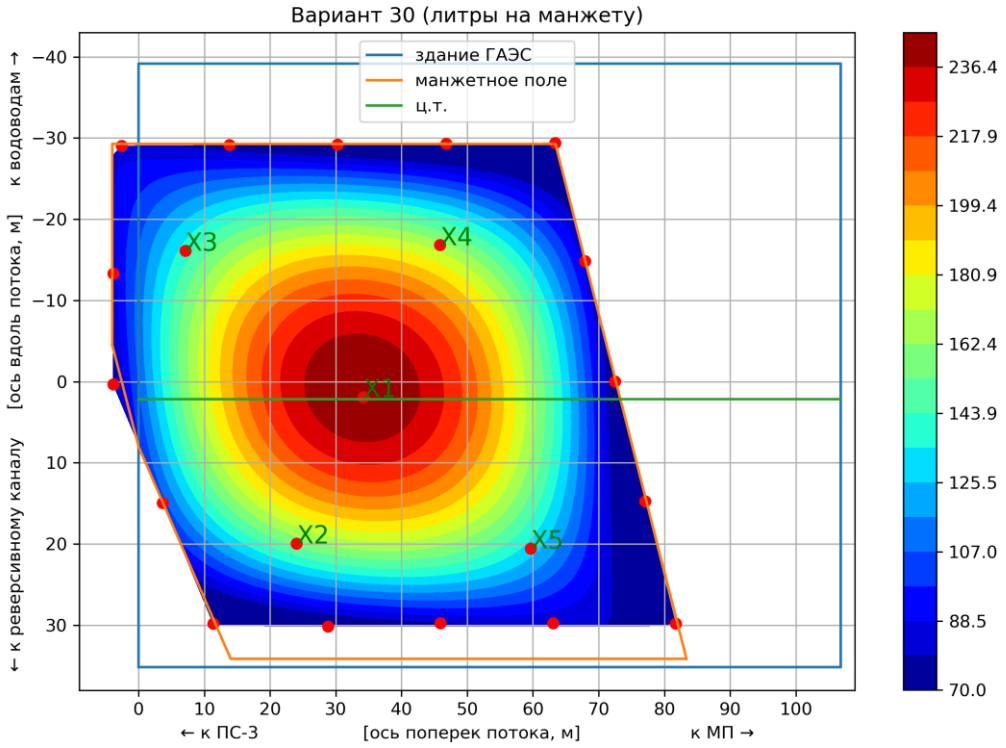


Рисунок Г.3.30.

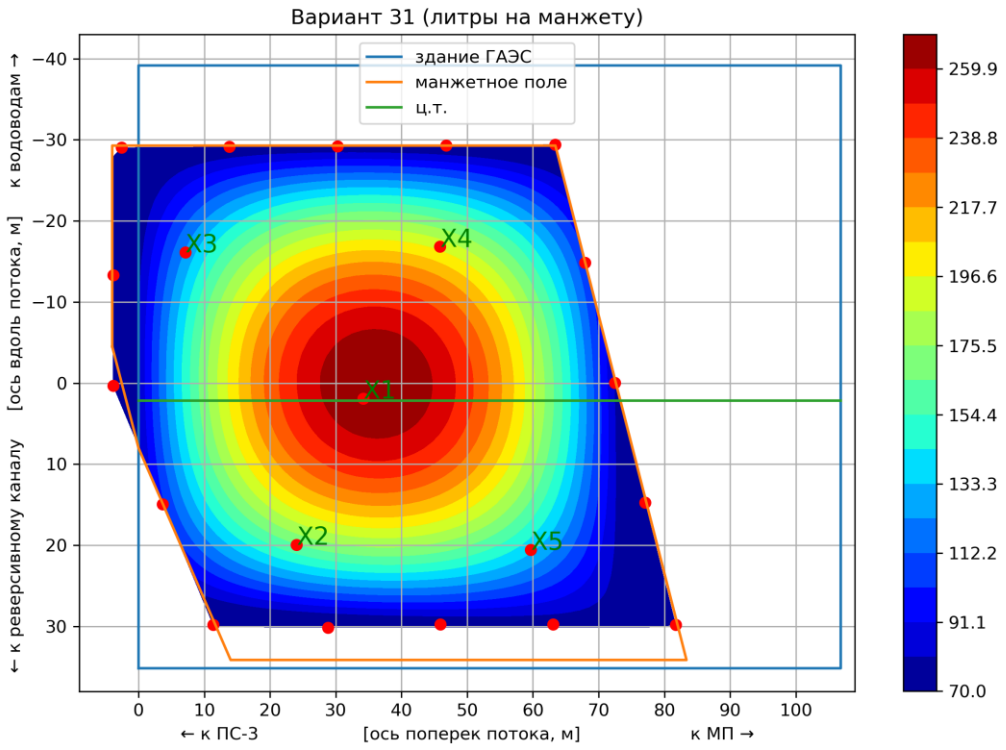


Рисунок Г.3.31.

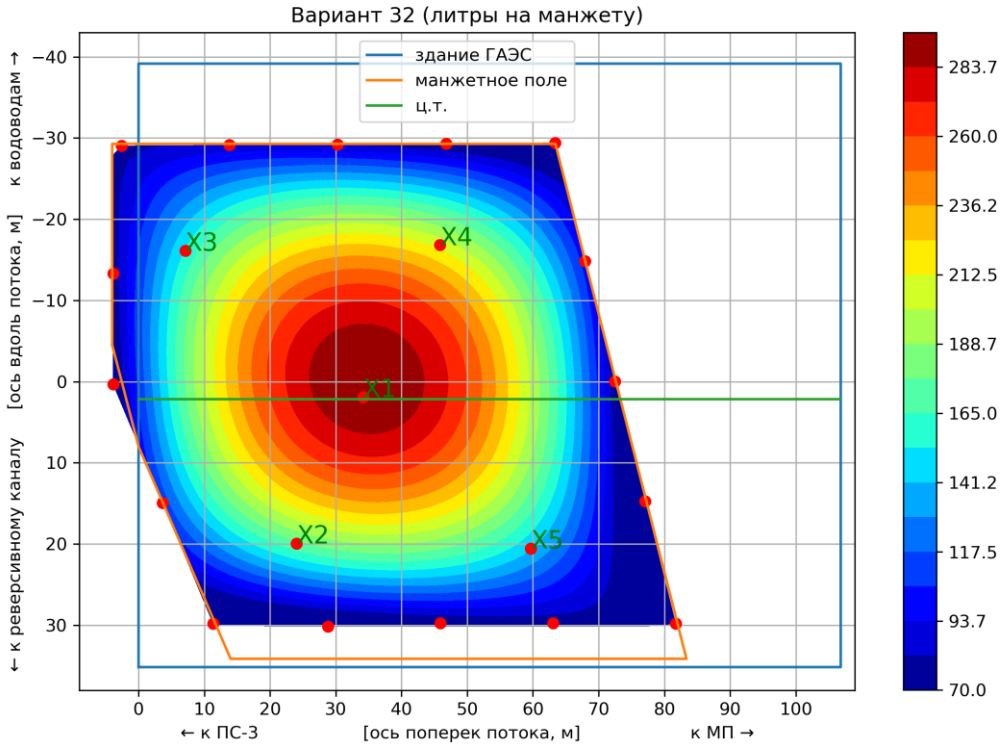


Рисунок Г.3.32.

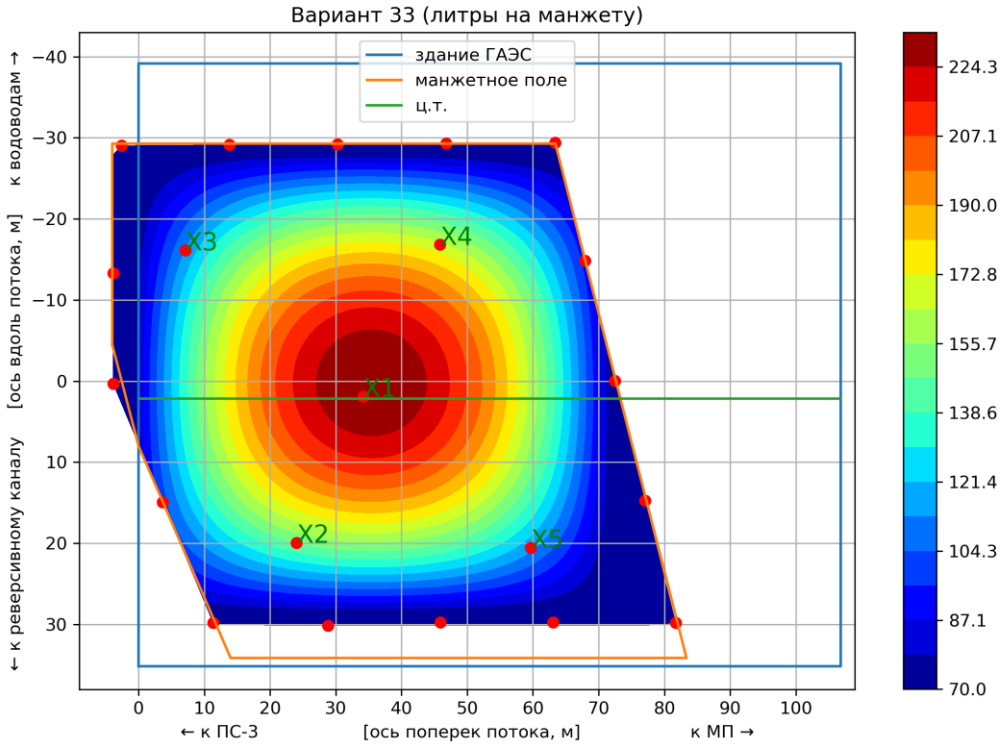


Рисунок Г.3.33.

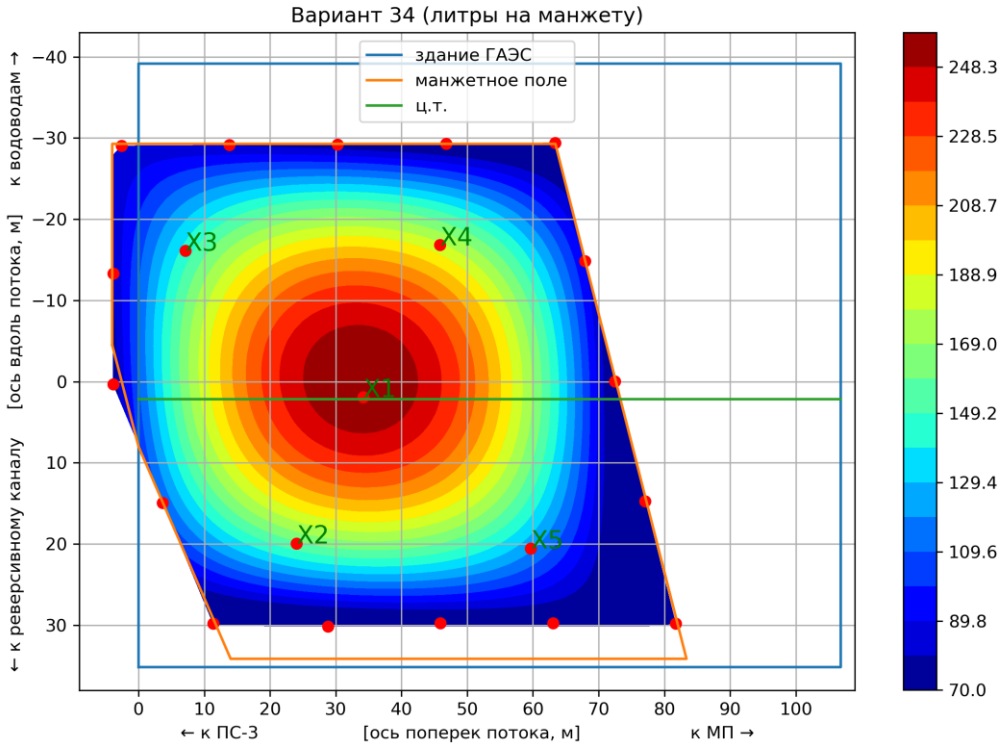


Рисунок Г.3.34.

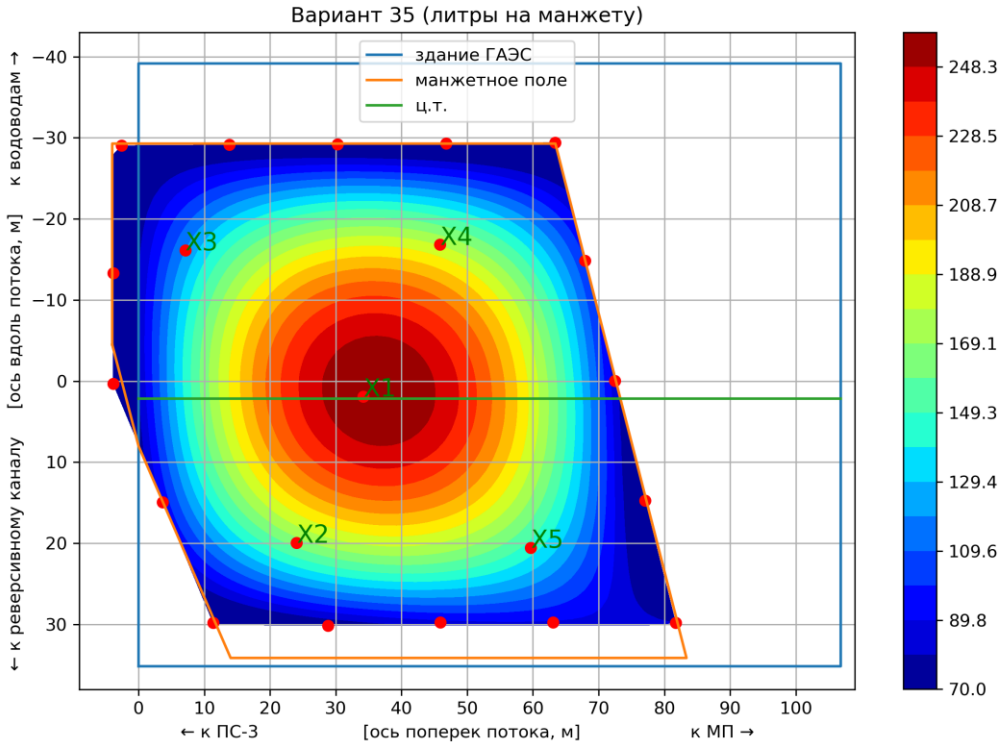


Рисунок Г.3.35.

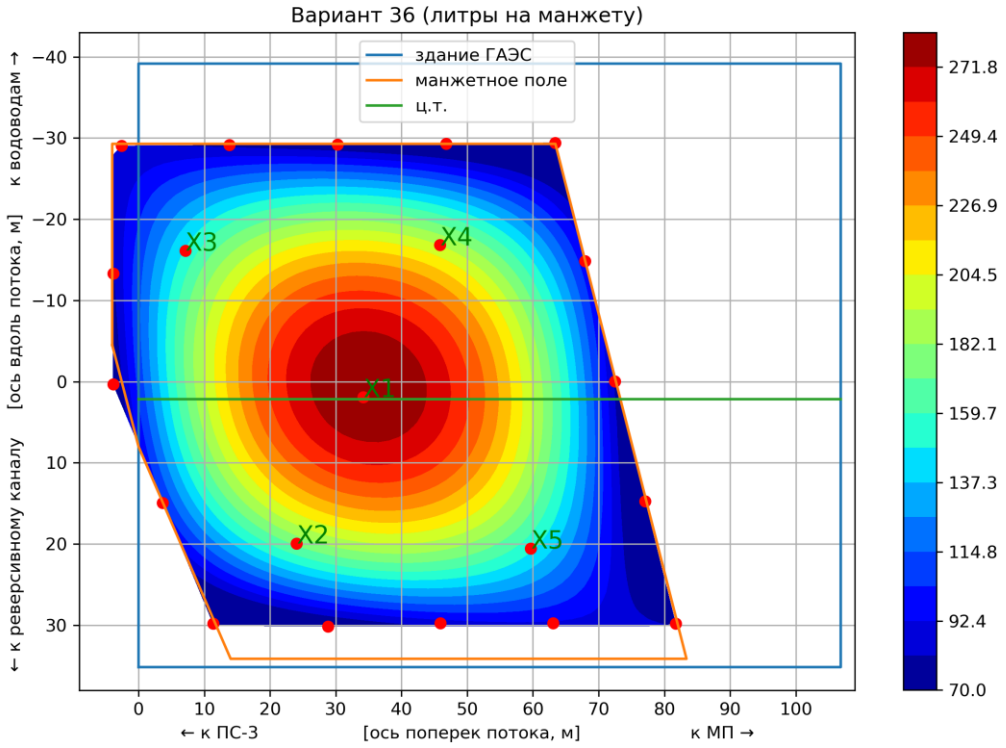


Рисунок Г.3.36.

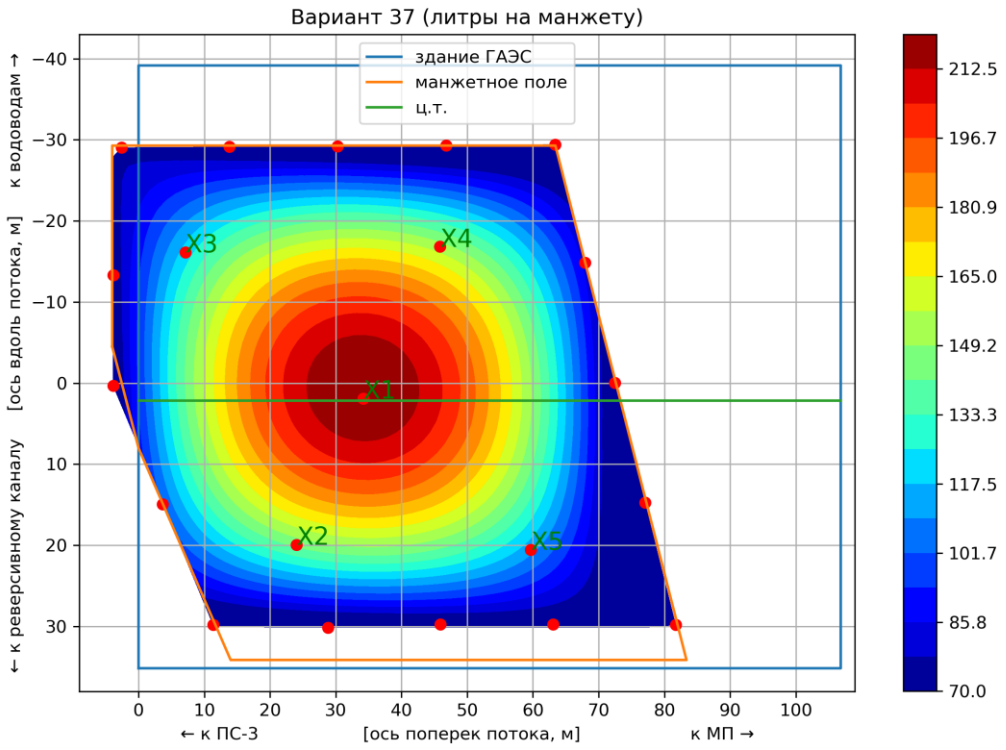


Рисунок Г.3.37.

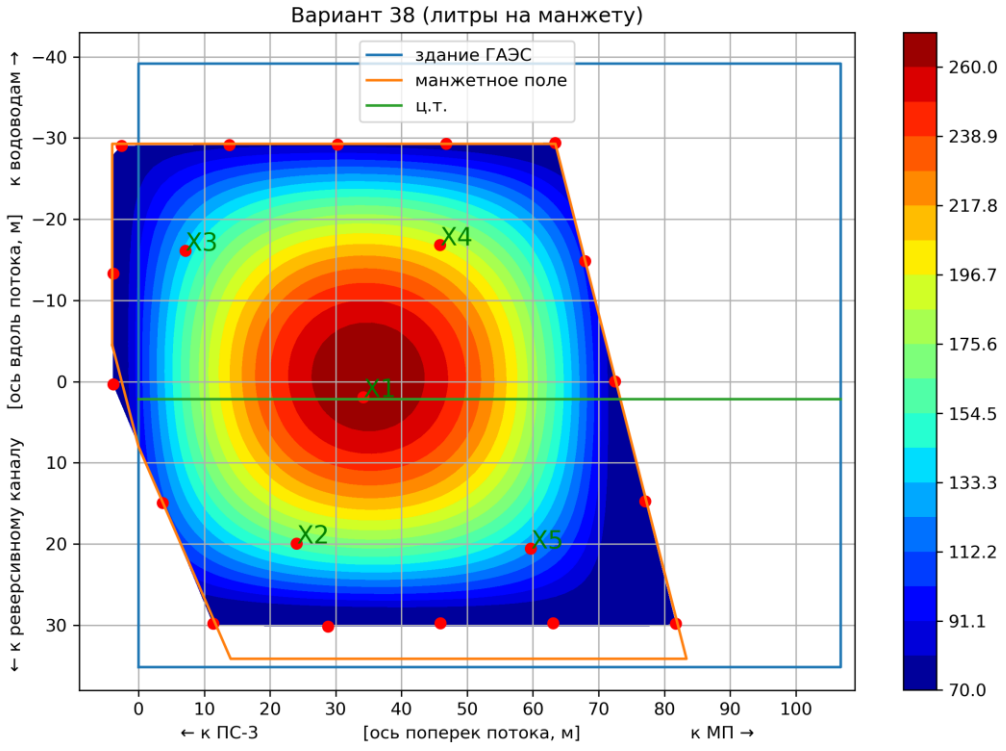


Рисунок Г.3.38.

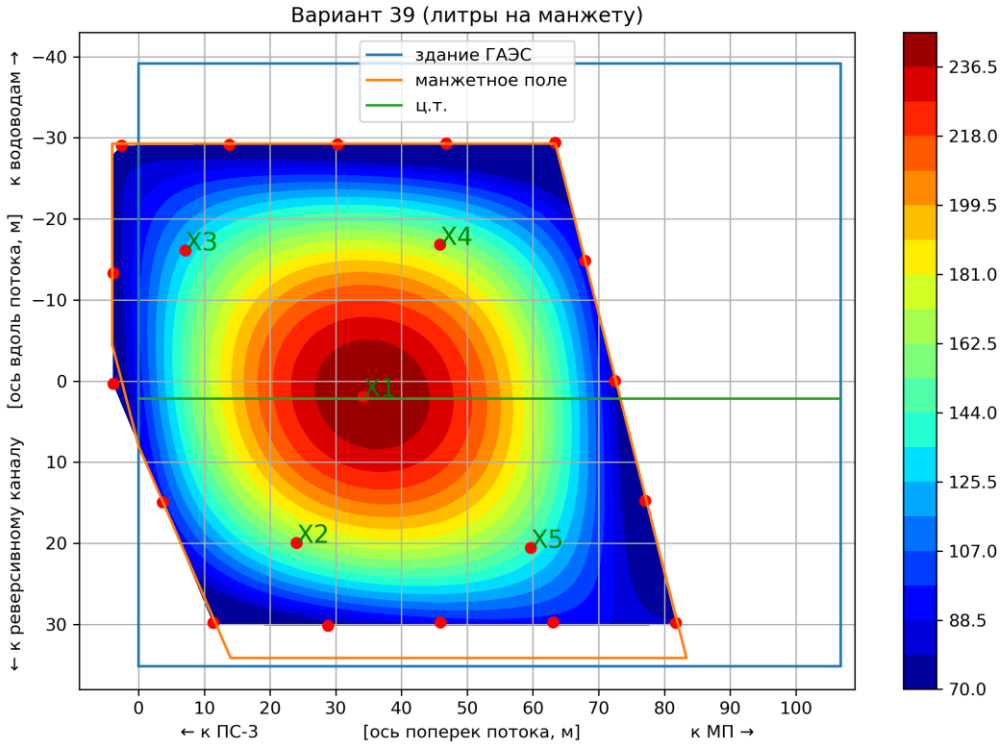


Рисунок Г.3.39.

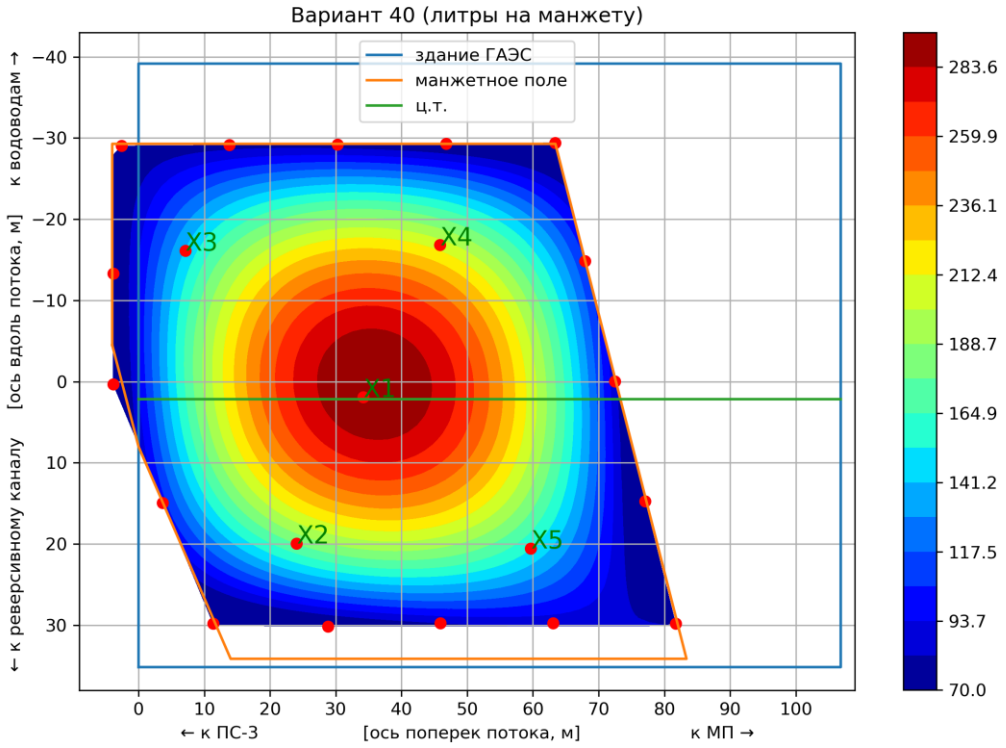


Рисунок Г.3.40.

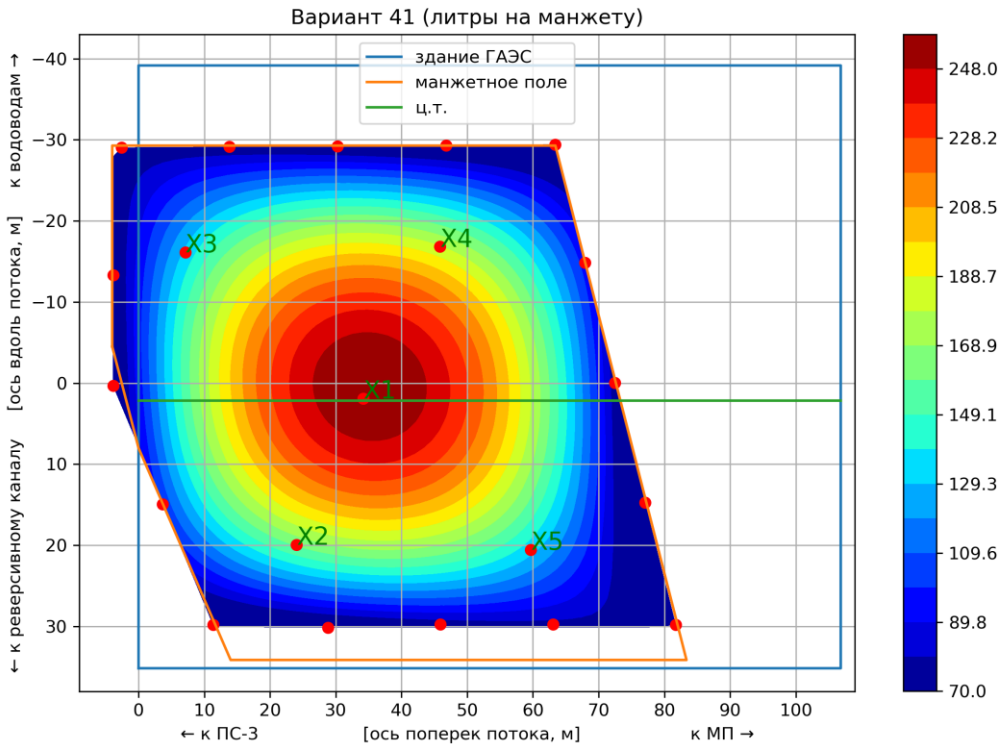


Рисунок Г.3.41.

Г.4. Варьирование смещения в плане холмообразного распределения объемов компенсационного раствора по теории планирования эксперимента

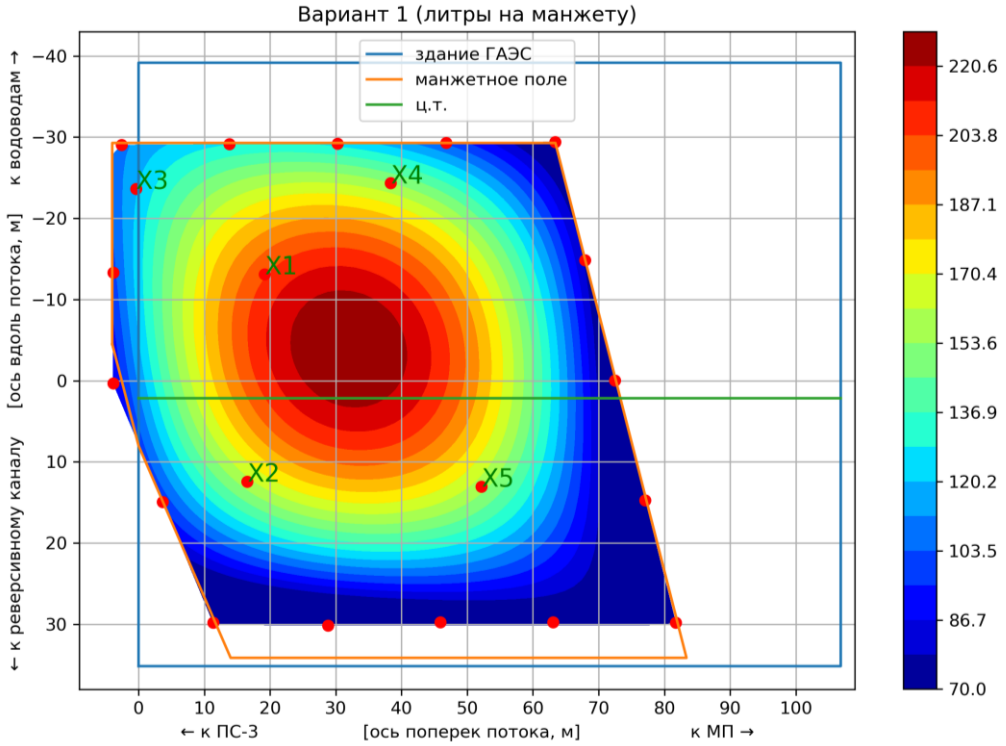


Рисунок Г.4.1.

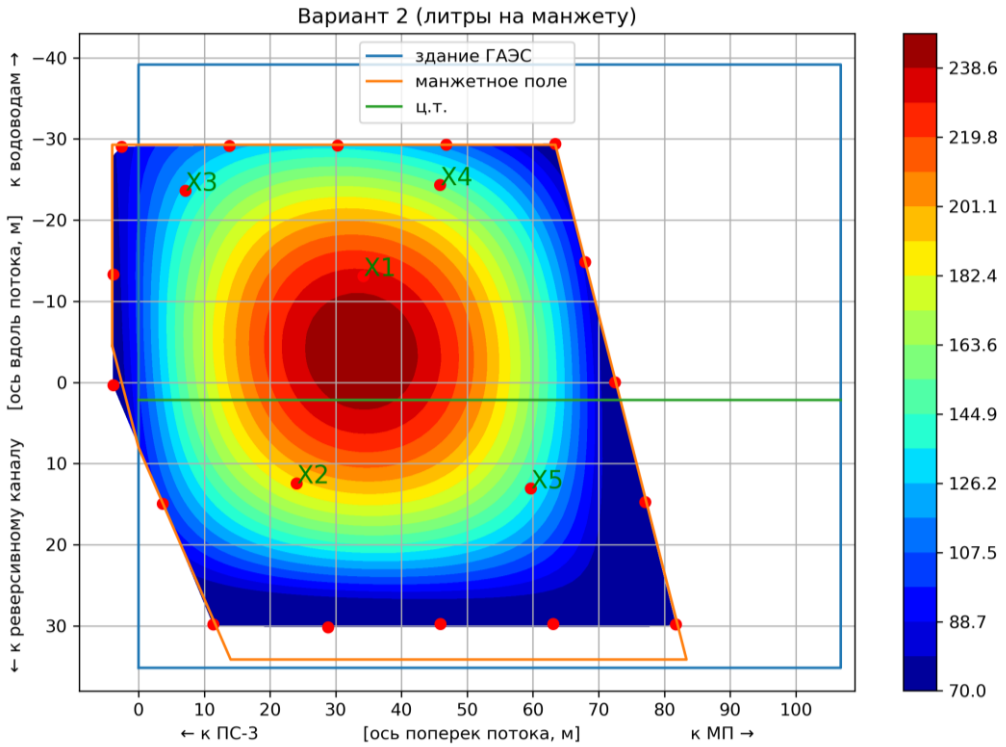


Рисунок Г.4.2.

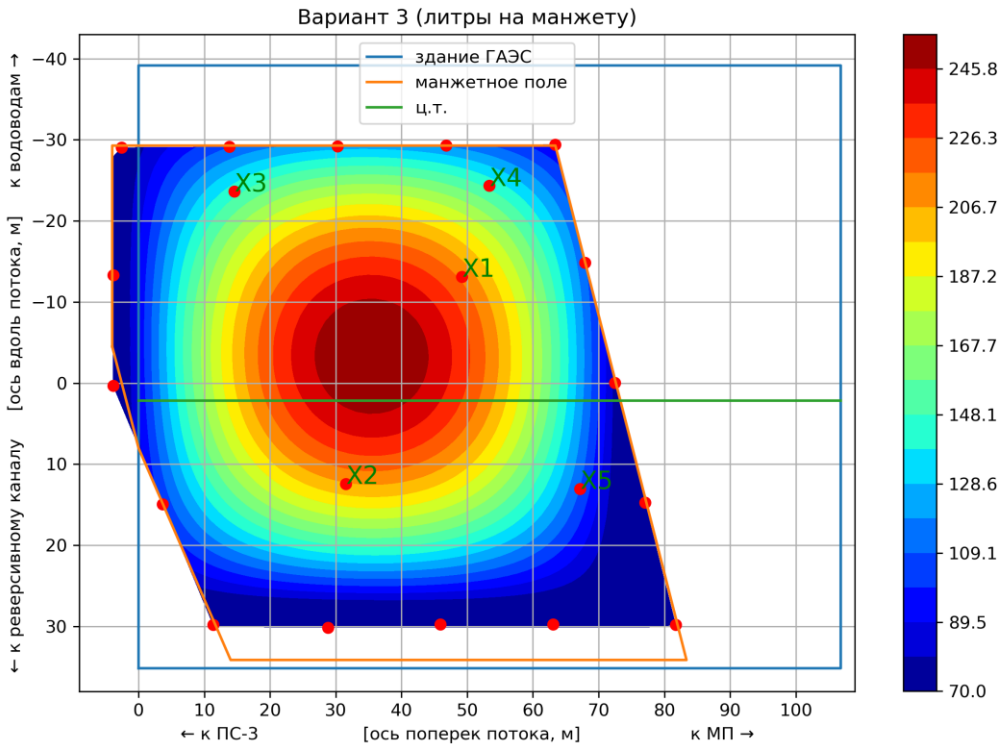


Рисунок Г.4.3.

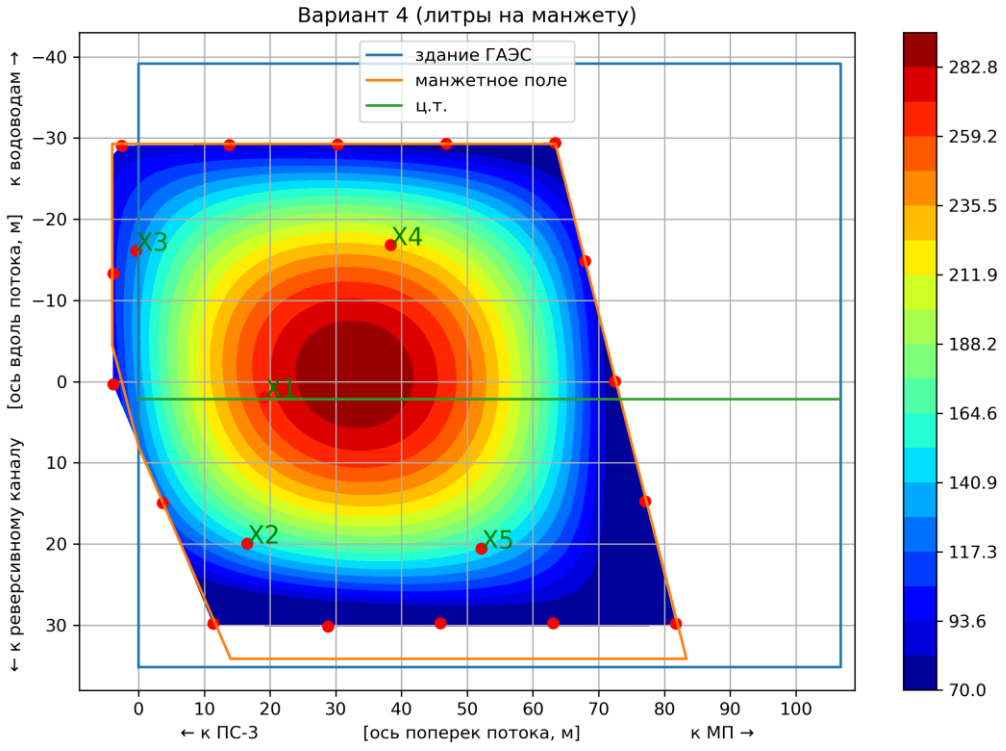


Рисунок Г.4.4.

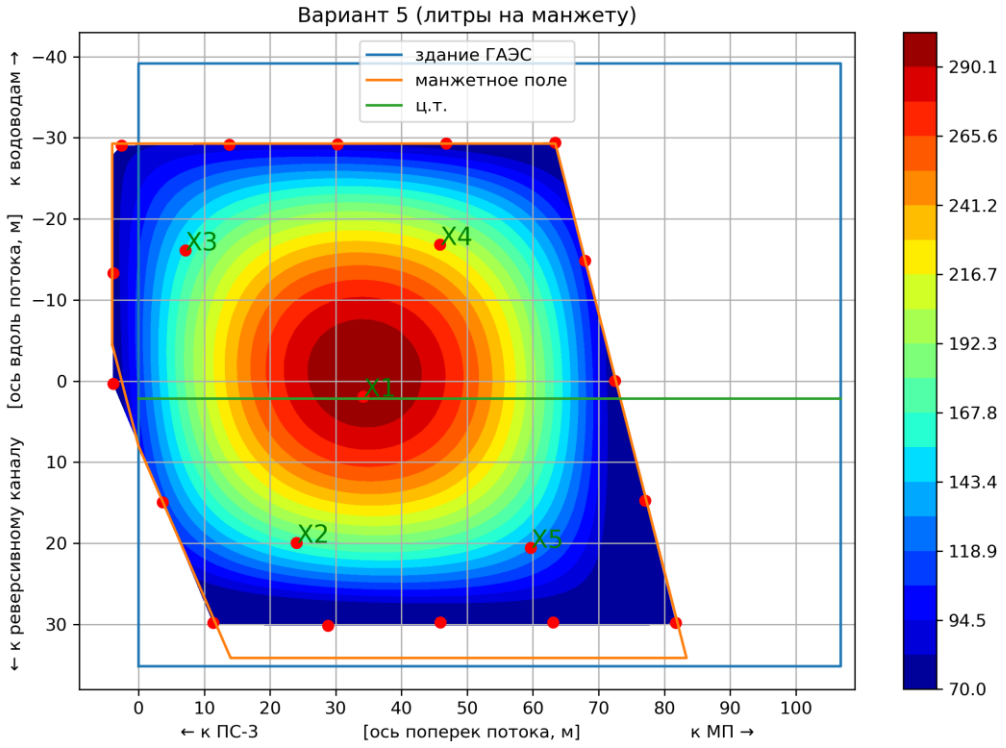


Рисунок Г.4.5.

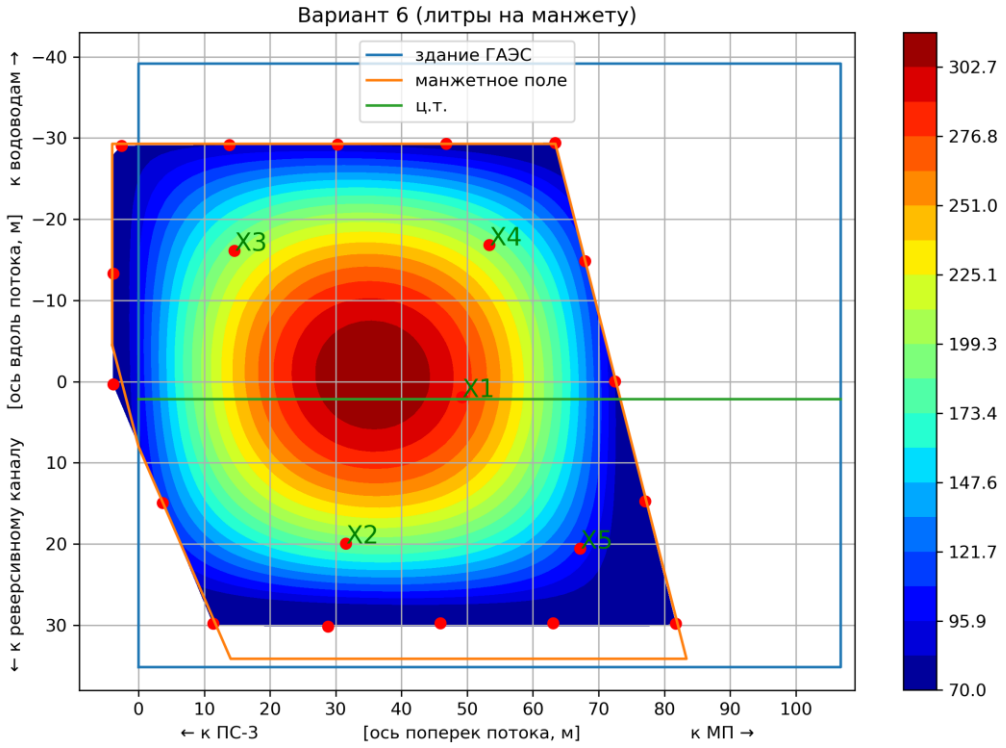


Рисунок Г.4.6.

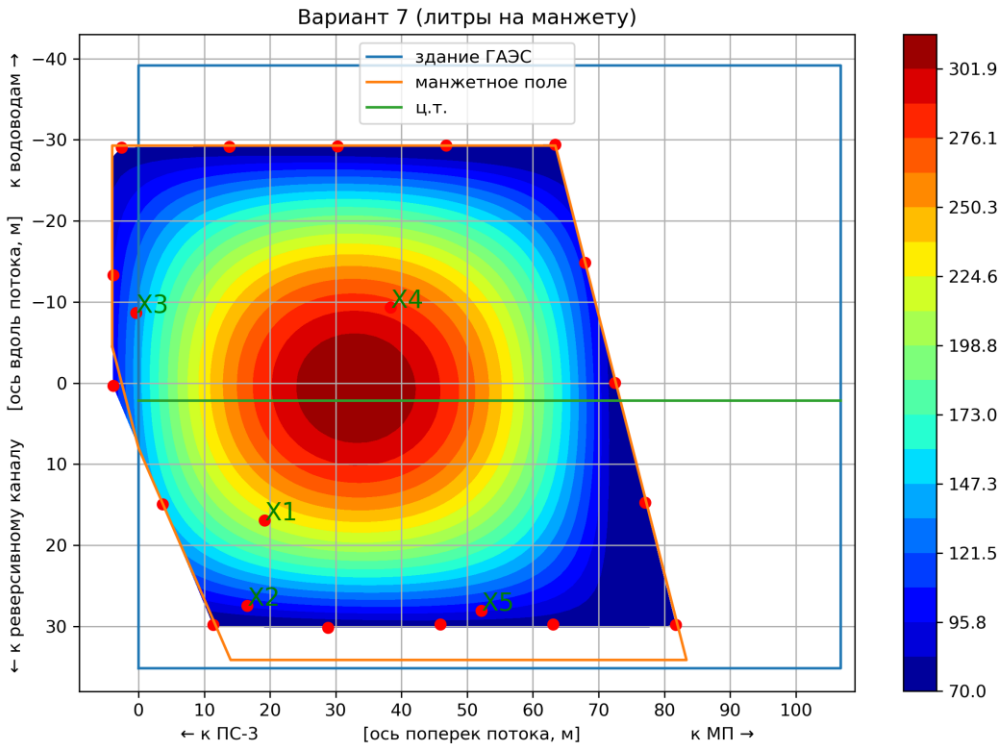


Рисунок Г.4.7.

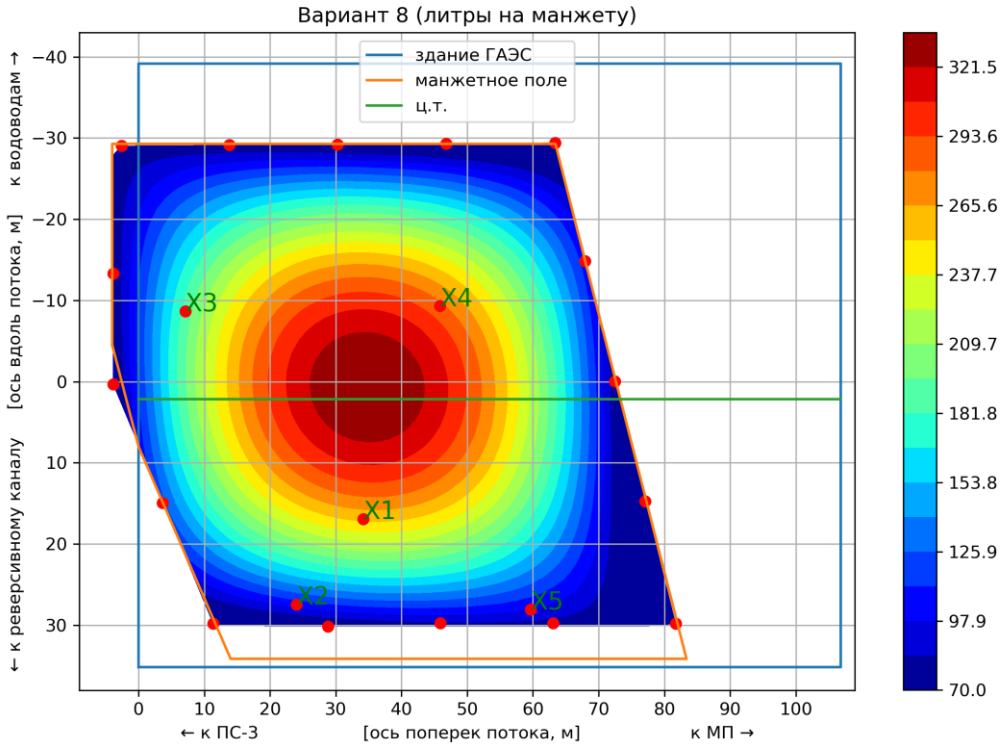


Рисунок Г.4.8.

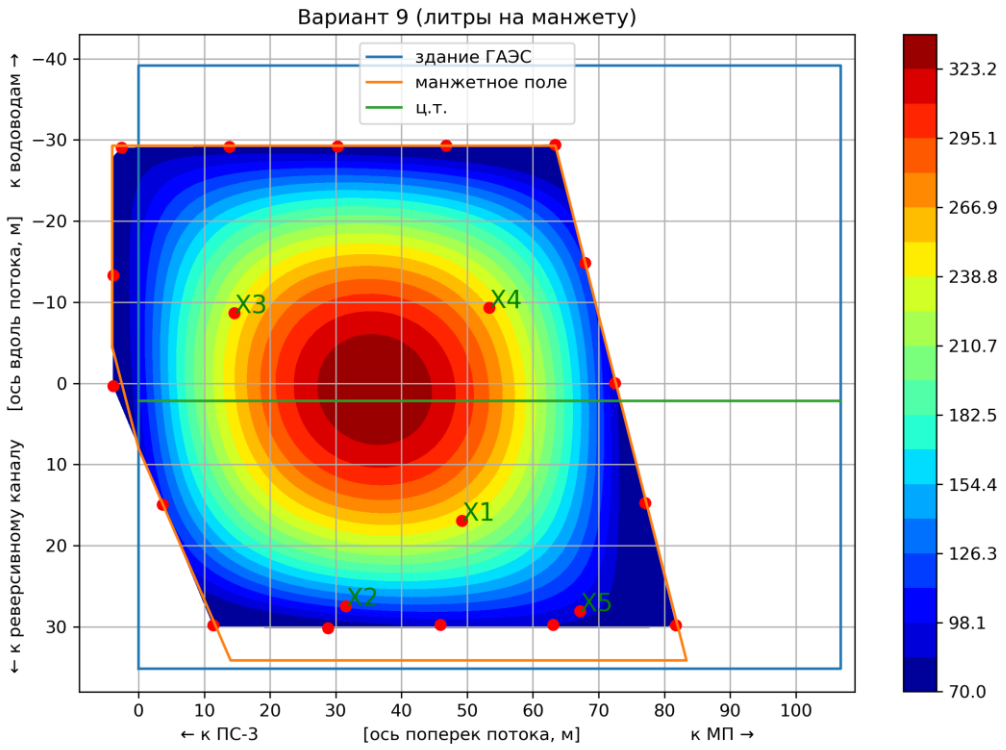

Вариант 9 (литры на манжету)
здание ГАЭС
манжетное поле
ц.т.
X1
X2
X3
X4
X5
← к реверсивному каналу [ось вдоль потока, м] к водоводам →
−40
−30
−20
−10
0
10
20
30
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
← к ПС-3
[ось поперек потока, м]
к МП →
323.2
295.1
266.9
238.8
210.7
182.5
154.4
126.3
98.1
70.0

Рисунок Г.4.9.

Г.5. Варианты сферических, конических и круговых распределений объемов компенсационного раствора

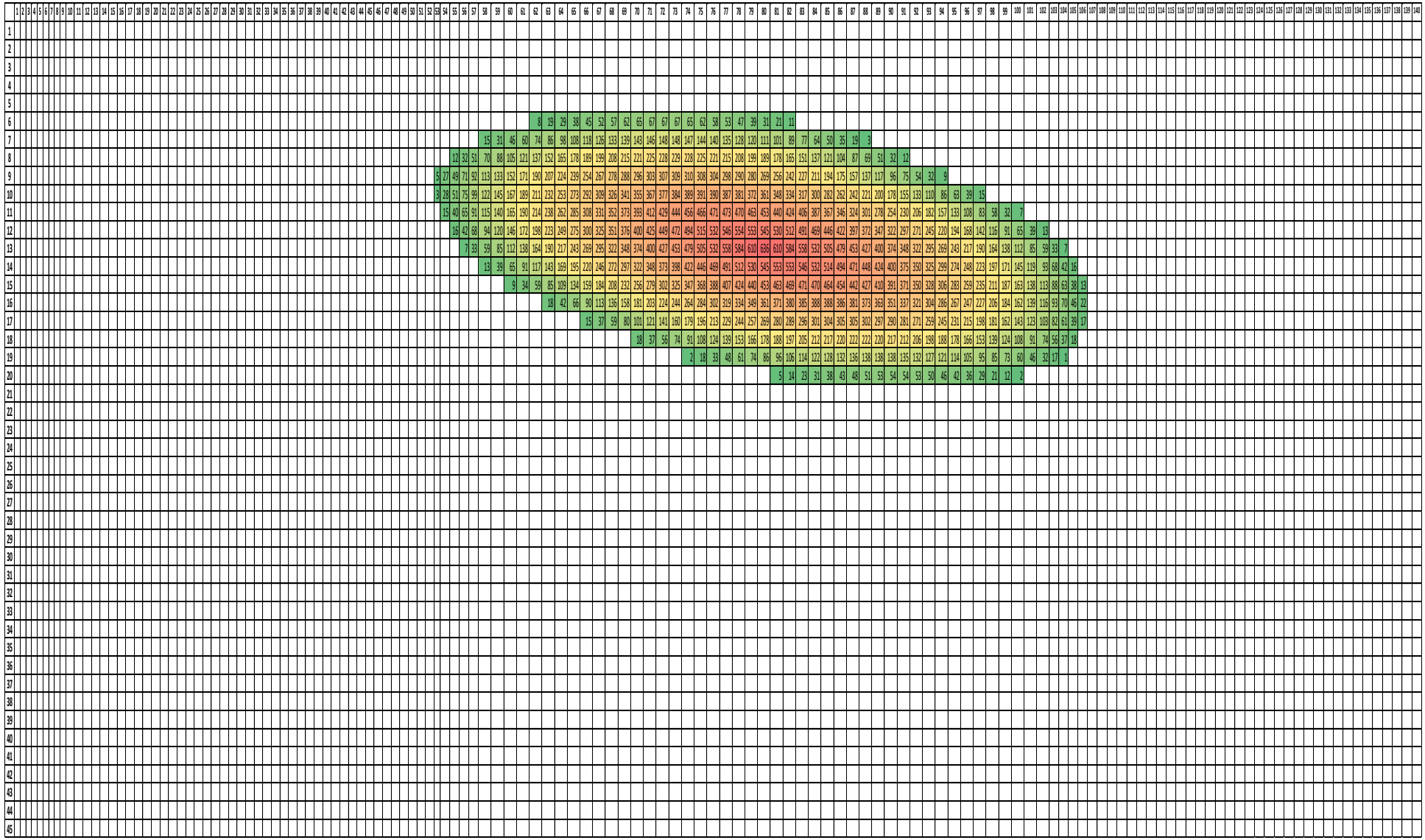


Рисунок Г.5.1. Сферическое распределение радиусом 12 м

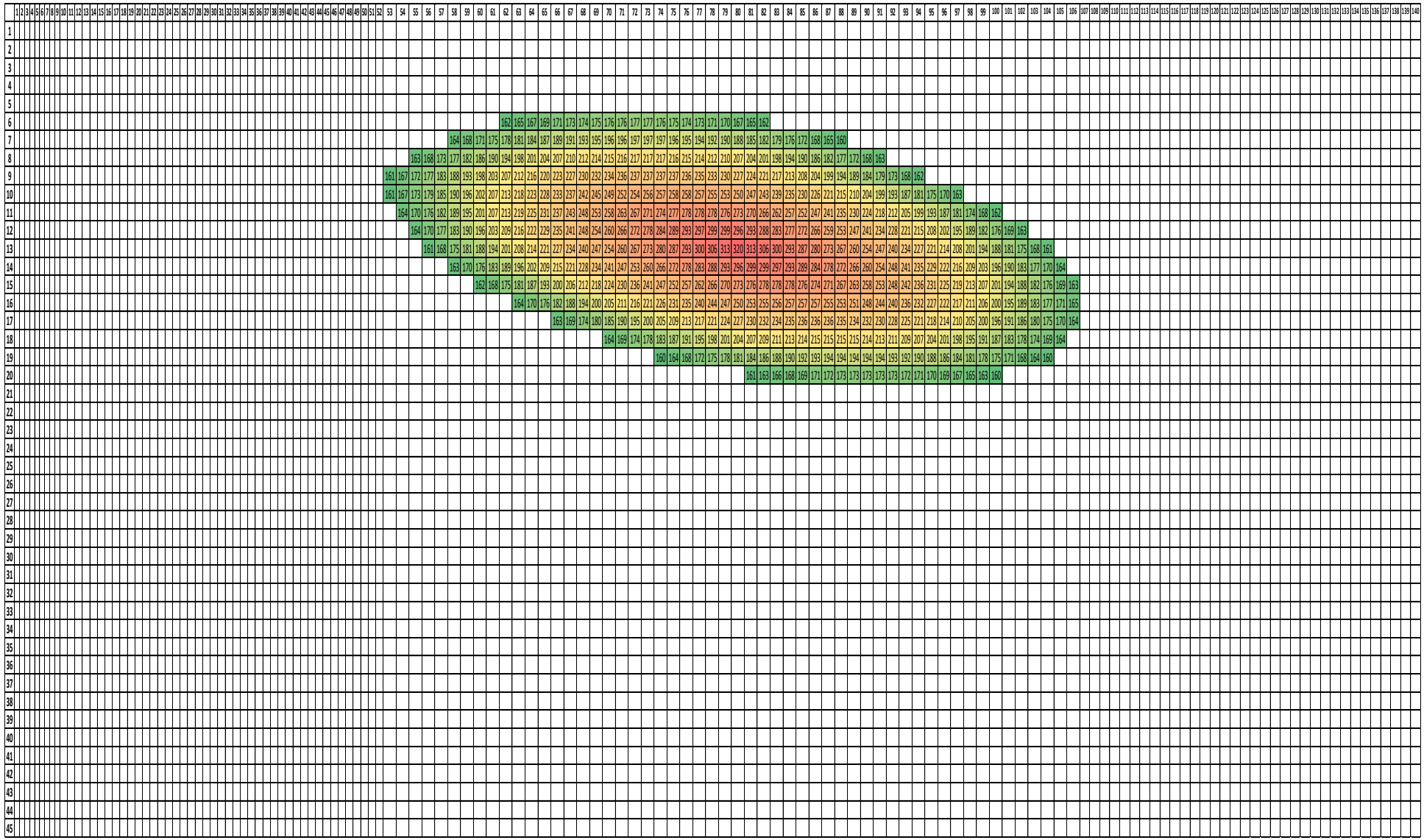


Рисунок Г.5.2. Коническое распределение радиусом 12 м

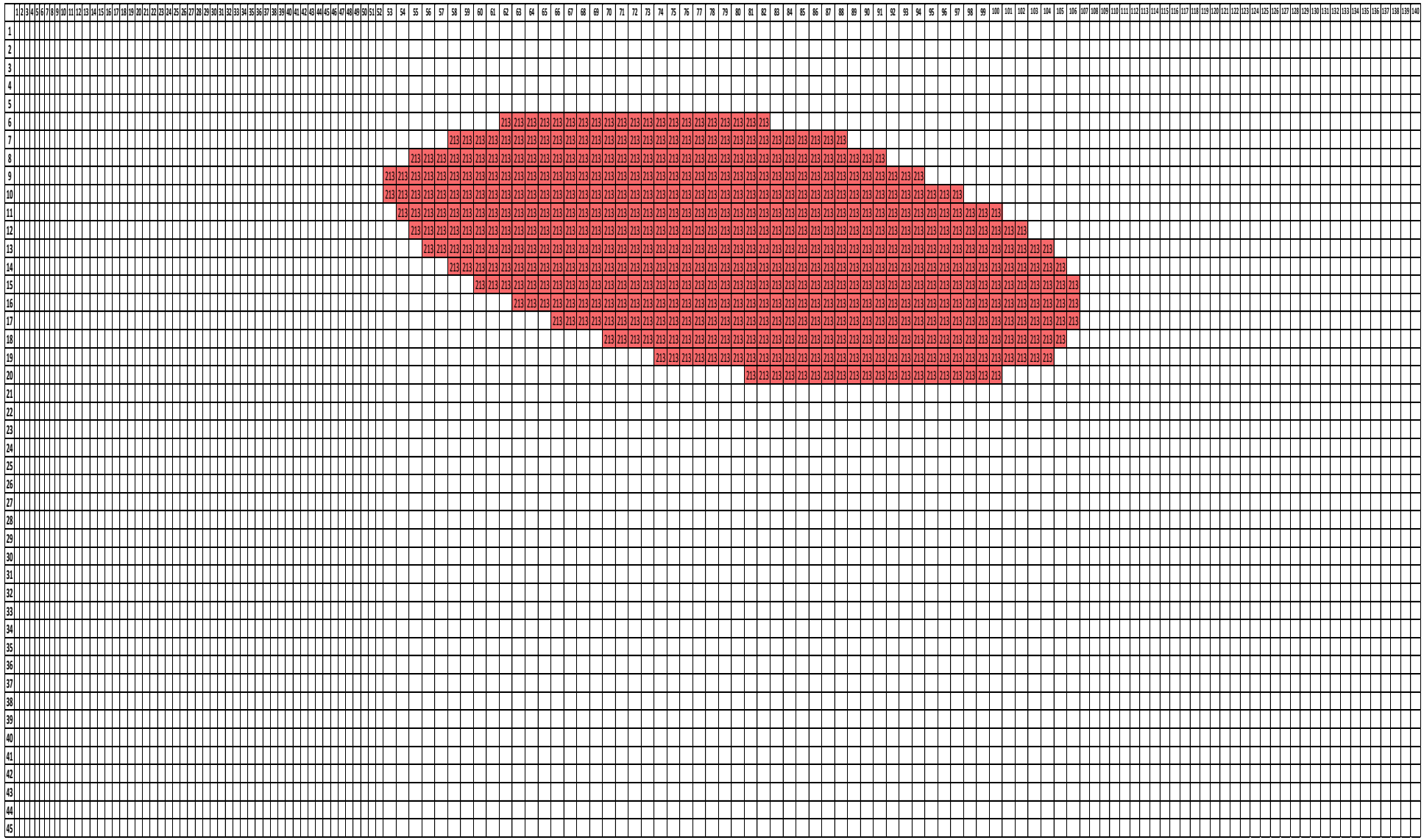


Рисунок Г.5.3. Круговое распределение радиусом 12 м

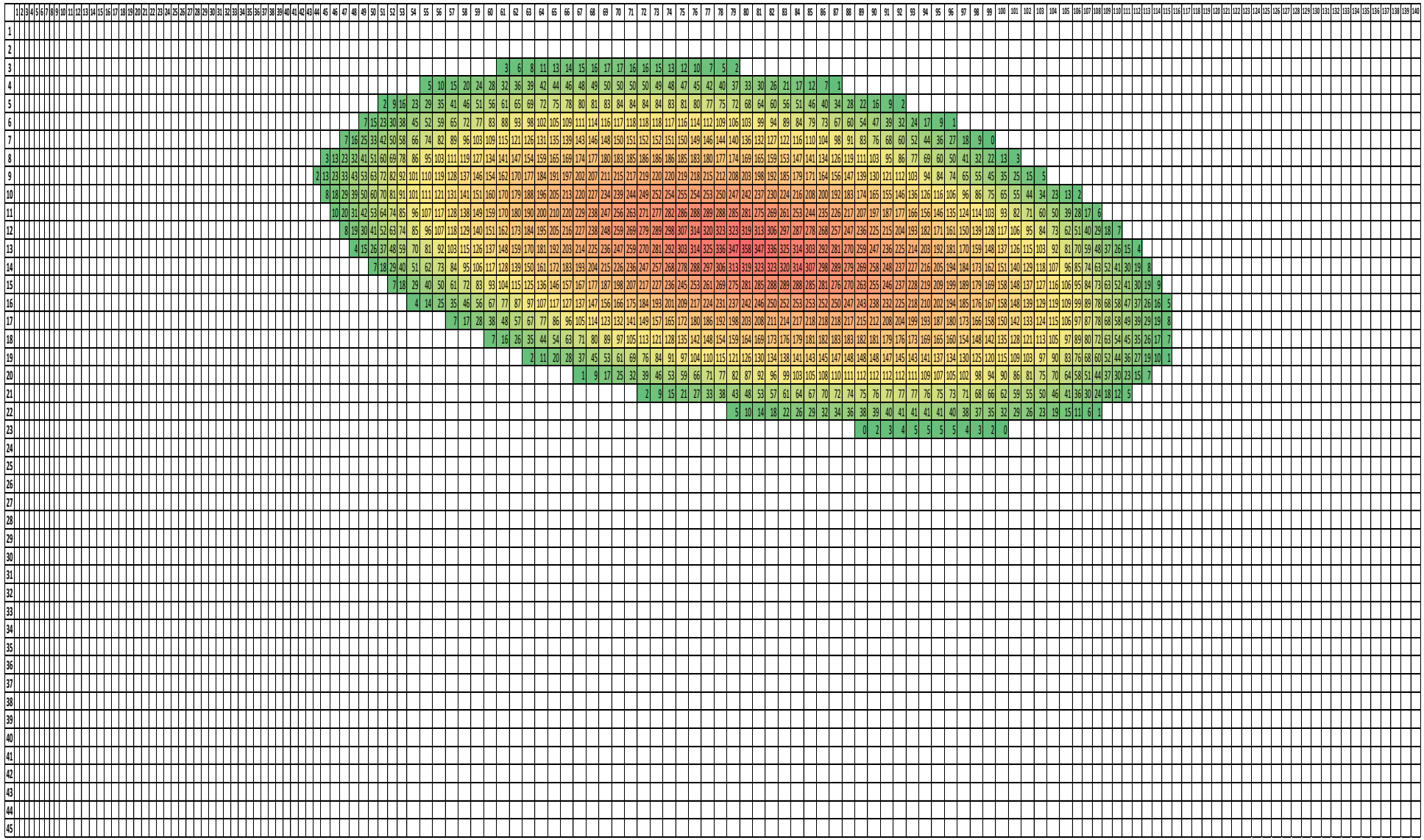


Рисунок Г.5.4. Сферическое распределение радиусом 16 м

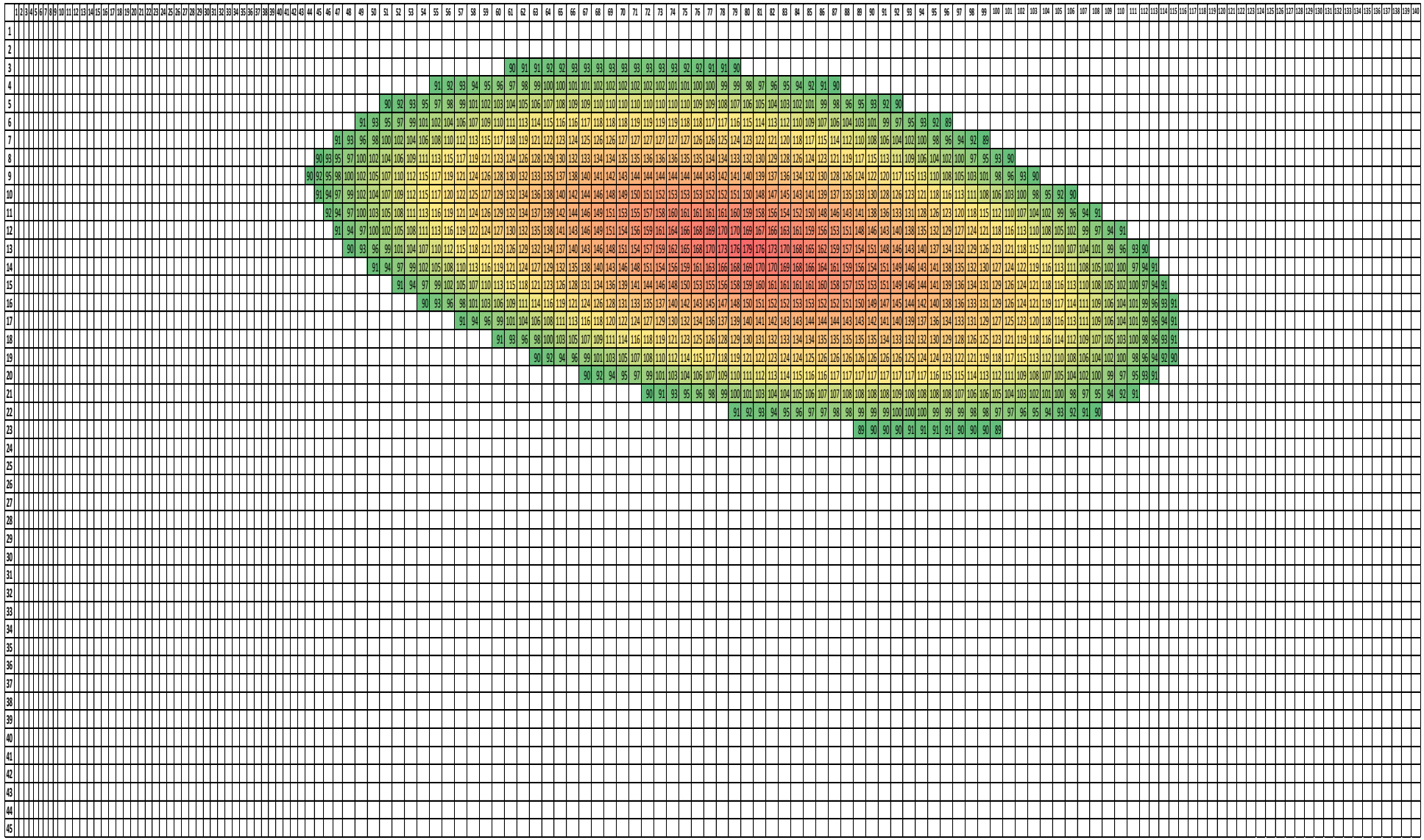


Рисунок Г.5.5. Коническое распределение радиусом 16 м

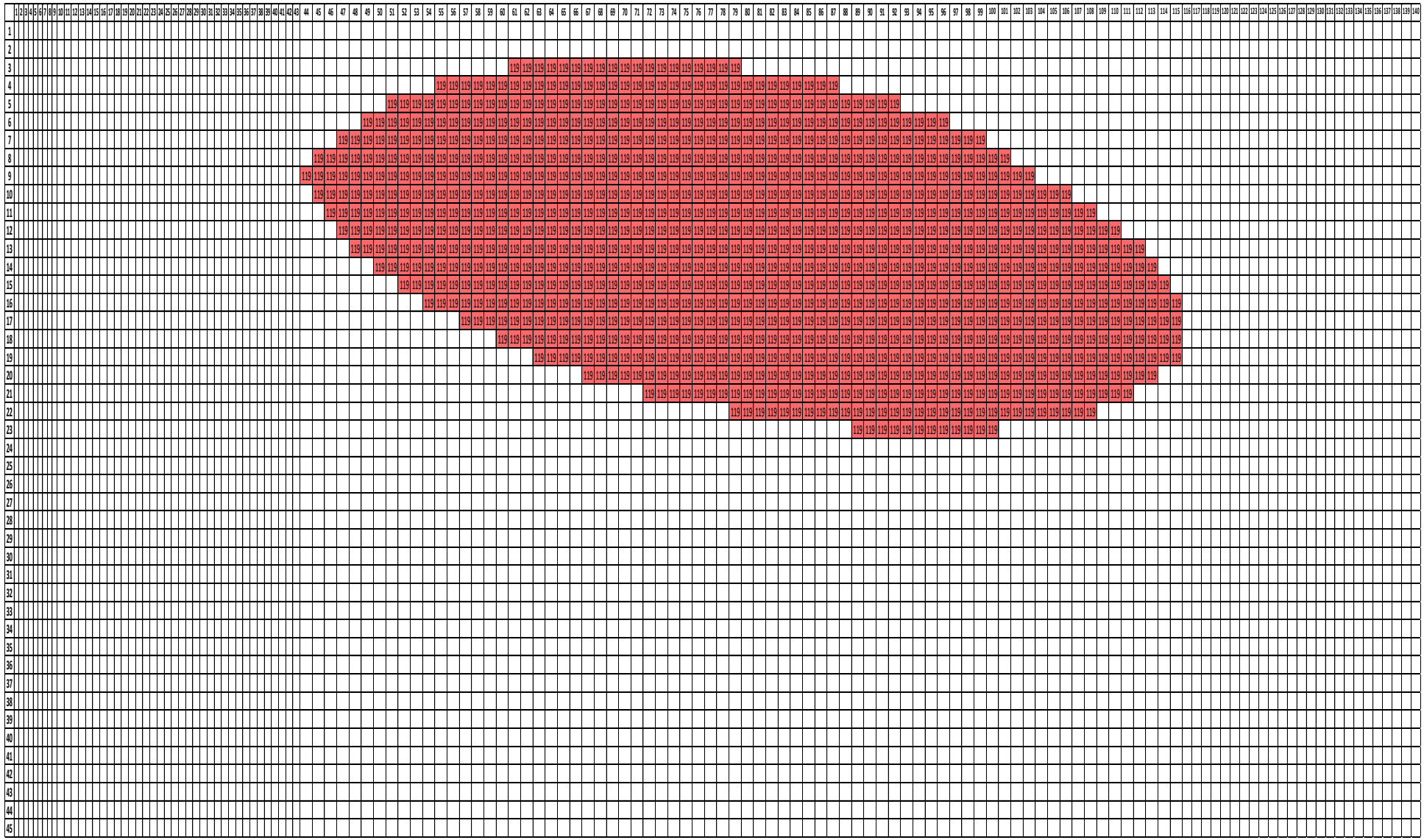


Рисунок Г.5.6. Круговое распределение радиусом 16 м

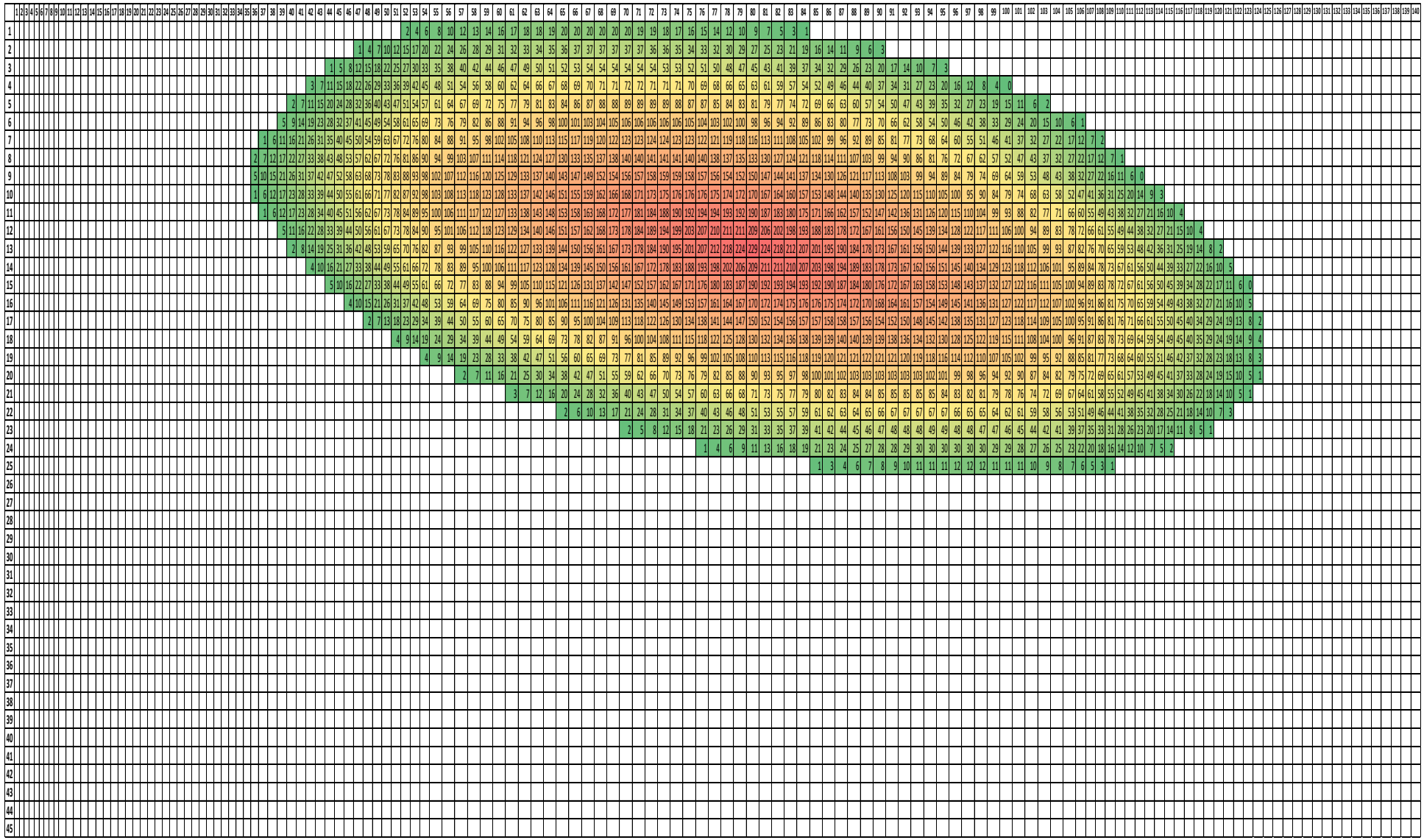


Рисунок Г.5.7. Сферическое распределение радиусом 20 м

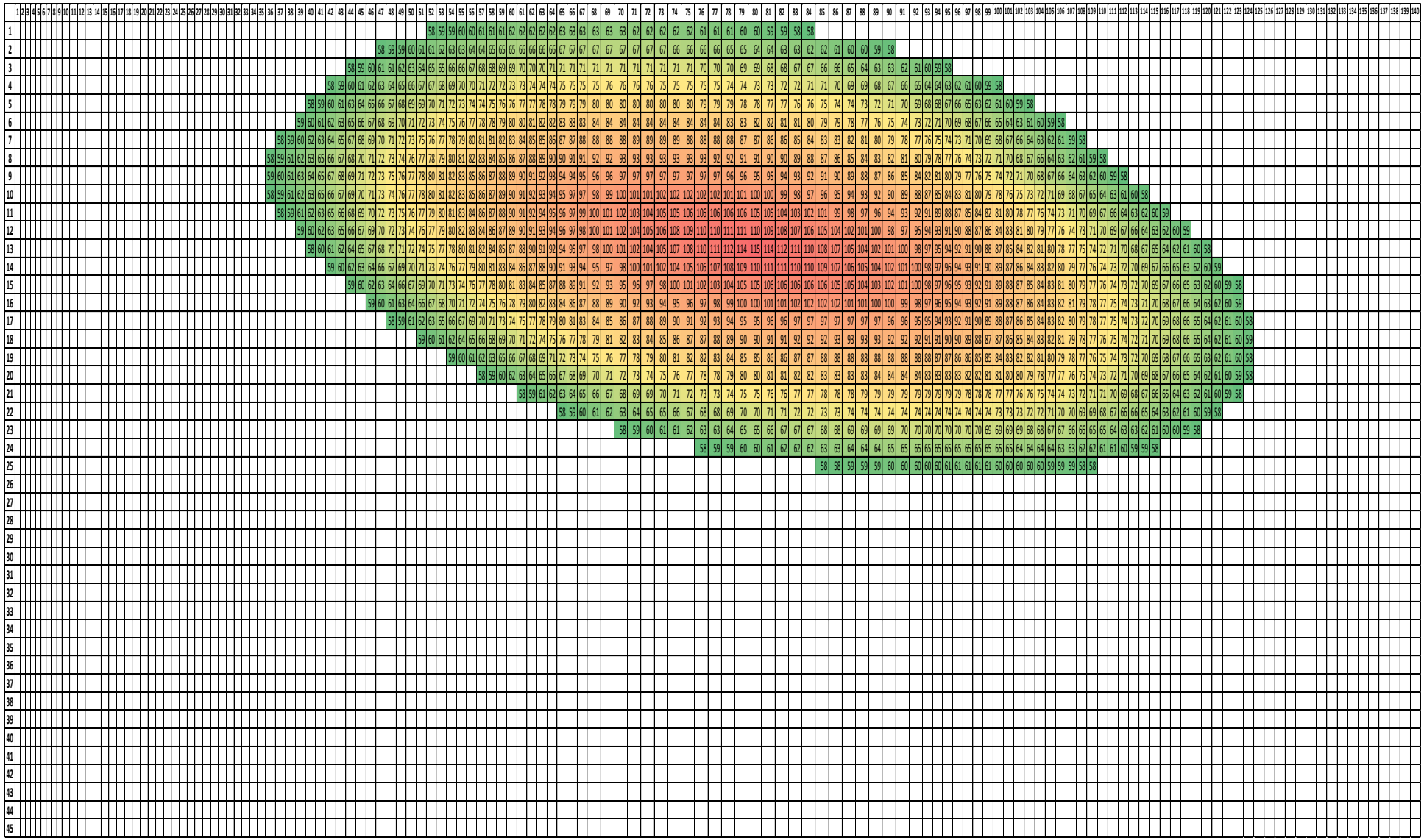


Рисунок Г.5.8. Коническое распределение радиусом 20 м

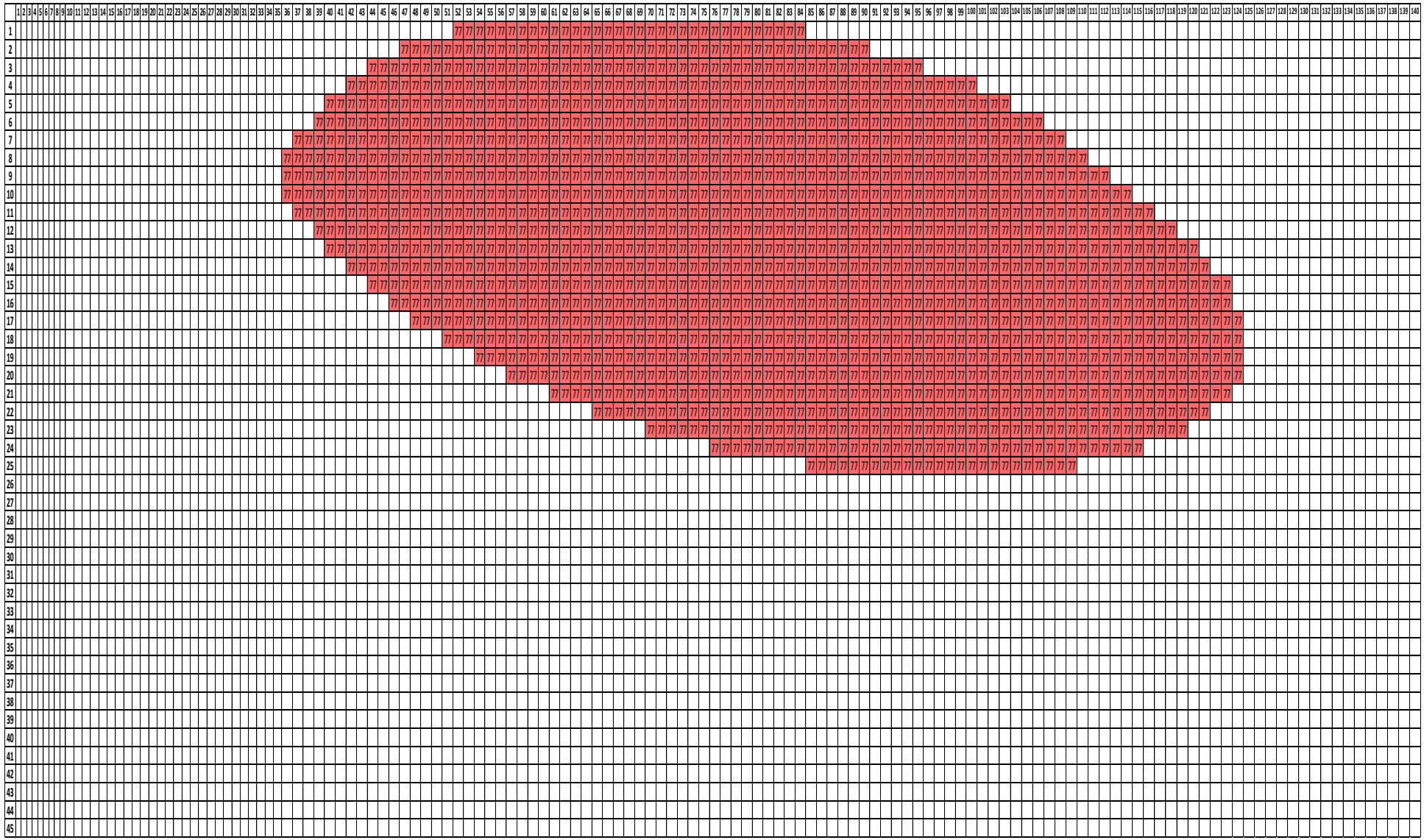


Рисунок Г.5.9. Круговое распределение радиусом 20 м