



Петровский А. Ф.

Петровский А. Ф., к.т.н., профессор, профессор кафедры Технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры
e-mail: komar9@mail.ru, тел.: (048) 723-33-42

Петровский А. Ф., к.т.н., профессор, профессор кафедры Технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва і архітектури
A. Petrovskiy, Ph.D, Professor Department of Technology of building production, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
e-mail: komar9@mail.ru, +38 (048) 723-33-42

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СОСТАВОВ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ЭКРАНА НА КОЭФФИЦИЕНТ ФИЛЬТРАЦИИ

ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ РІЗНИХ СКЛАДІВ РОЗЧИНІВ ПРОТИФІЛЬТРАЦІЙНОГО ЕКРАНУ НА КОЕФІЦІЄНТ ФІЛЬТРАЦІЇ

RESEARCH THE EFFECT OF VARIOUS COMPOSITIONS OF IMPERVIOUS SCREEN ON THE FILTRATION COEFFICIENT

Аннотация. В работе рассмотрены результаты экспериментальных лабораторных исследований по устройству горизонтальных противofильтрационных экранов. Разработана методика и лабораторное оборудование для проведения таких исследований. Исследованы различные материалы составов устройства защитного экрана. Это экраны с использованием бентонита, гидросиликата натрия в комбинации с хлористым кальцием, а также мягко-эластичная гидроизолирующая смола MC-Injekt GL-95. Приведены аналитические и графические зависимости изменения коэффициента фильтрации такого экрана при использовании различных инъекционных составов.

Ключевые слова. Противofильтрационные защитные экраны, горизонтально направленное бурение, бентонит, коэффициент фильтрации, гидросиликат натрия, хлористый кальций, смола MC-Injekt GL-95.

Анотація. В роботі розглянуті результати експериментальних лабораторних досліджень по влаштуванню горизонтальних протифільтраційних екранів. Розроблено методику та лабораторне обладнання для проведення таких досліджень. Досліджено різні варіанти складів розчину захисного екрану. Це екрани з використанням бентоніту, гідросилікату натрію в комбінації з хлористим кальцієм, а також м'яко-еластична гідроізоляційна смола MC-Injekt GL-95. Наведено аналітичні та графічні залежності зміни коефіцієнта фільтрації такого екрану при використанні різних ін'єкційних складів.

Ключові слова. Протифільтраційні захисні екрани, горизонтально направлене буріння, бентоніт, коефіцієнт фільтрації, гідросилікат натрію, хлористий кальцій, смола MC-Injekt GL-95.

Abstract. The paper discusses the results of experimental laboratory studies on the arrangement of horizontal impervious screens. The method and laboratory equipment to conduct such research were developed. The different materials of solution compositions for screens arrangement were researched. Screens based on bentonite, sodium silicate combined with calcium chloride, as well as soft-elastic waterproofing resin MC-Injekt GL-95. Analytical and graphic changes depending on the hydraulic conductivity of the screen by using different injectable formulations.

Keywords. Impervious protective screens, horizontal directional drilling, bentonite, filtration coefficient, hydrosilicate sodium, calcium chloride, resin MC-Injekt GL-95.

Постановка проблемы

Анализ проблем, возникающих при захоронении последствий аварии на Чернобыльской АЭС, показал, что по масштабам воздействия и необходимым финансовым и техническим ресурсам, ведущее место занимает локализация загрязнений и снижение эмиссий радиоактивных веществ в окружающую среду. Устройство противofильтрационных экранов способом горизонтально направленного бурения может быть использовано для защиты подземных вод от миграции загрязняющих веществ. Были предложены многочисленные способы устройства противofильтрационных экранов, однако их анализ показал низкую экономическую и экологическую эффективность. По этим критериям использование горизонтально направленного бурения более предпочтительно. Настоящее исследование обладает социальной значимостью, так как позволит защитить население от последствий заражения загрязнённой радионуклидами водой. Для создания новой технологии необходимо решить задачу определения влияния различных составов противofильтрационного экрана на коэффициент фильтрации.

Анализ исследований и публикаций

Ведущими специалистами в изучении проблемы защиты подземного пространства путем усовершенствования и внедрения эффективных технологий строительства противofильтрационных экранов и завес является А.Н. Адамович, В.А. Большаков, Я.М. Аммосова, О.И. Гладштейн, А. Малинин и дру-

гие. Анализ работ Ю.В. Пономаренко, М.Н. Климентова, А.Н. Петина, Е.В. Захарова, Е.П. Каймина, А.Н. Басиева, М.В. Зелова и др. [1 – 4] показал, что на сегодня в странах Ближнего и Дальнего зарубежья достаточно много различных технологий и способов защиты подземного пространства. Противofильтрационные устройства (экраны и завесы) применяются для перехвата движения грунтовых вод, для защиты от подтопления сооружений и площадок (противofильтрационные завесы), а также для перехвата инфильтрационных вод, поступающих с водовмещающих наземных и подземных емкостей и сооружений-резервуаров, отстойников, шламохранилищ, накопителей стоков (противofильтрационные экраны). Выбор завесы или экрана решается технико-экономическими расчетами. Преимуществом противofильтрационных завес (ПФЗ) является возможность их строительства на сооружениях эксплуатируемых, а также при больших площадях водоемов или карт для захоронения отходов и близком залегании водоупора, когда экраны явно не экономичны. Однако существует много объектов, где водоупор залегает на большой глубине, а существующие технологии не позволяют сделать защитный экран там, где надо. Для решения этой проблемы необходима разработка инновационных технологий с принципиально новым подходом. Наиболее перспективным направлением, исходя из исследований автора, является разработка горизонтальных экранов закрытым способом. Исследования, проведенные в ОГАСА, показали возможность

создания горизонтального противofильтрационного экрана для локализации загрязнений и необходимость определения влияния различных материалов на процесс образования структурных компонентов экрана на коэффициент фильтрации.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Одной из задач создания горизонтального противofильтрационного экрана под сооружением, является проведение исследований по подбору материала этого экрана на лабораторном оборудовании, т.к. используемые до этого материалы не обеспечивали значения коэффициента фильтрации на уровне $< 5 \cdot 10^{-5}$ «практически водонепроницаемые». Для локализации таких видов загрязнений, как токсичные или радиационные отходы, необходимо обеспечивать максимальную водонепроницаемость.

Цель работы

Целью исследования является определение оптимальных технологических режимов устройства горизонтальных противofильтрационных экранов путём горизонтально направленного бурения и инъектирования грунта различными составами. В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

1. проведение экспериментальных исследований с применением различных инъекционных растворов;
2. анализ полученных в ходе экспериментов результатов.

Основное содержание

Задачей исследования является разработка способа устройства противofильтрационной завесы под сооружением, позволяющего снизить трудоемкость и стоимость работ, а также уменьшить сроки производства работ.

Задача решается за счет того, что предложен способ устройства противofильтрационной завесы под сооружением. С поверхности земли создают горизонтальные, наклонные или изогнутые инъекционные скважины, аутентичные подошве сооружения. В скважины нагнетают закрепляющие составы. После твердения этих составов образуется противofильтрационная завеса [5].

Для моделирования процесса инъектирования, описанного выше, был создан лабораторный стенд (рис. 1). Он моделирует перпендикулярное оси бурения сечение, в котором под воздействием рабочих параметров инъектируемый раствор распространяется на различном от места инъекции расстоянии.

Так как основным свойством противofильтрационного экрана является его водонепроницаемость, было решено выбрать основным показателем коэффициент фильтрации грунта. Этот показатель представляет собой скорость фильтрации при напорном градиенте, равном единице, и выражается в м/сут или см/сек. Определение коэффициента фильтрации осуществлялось на лабора-

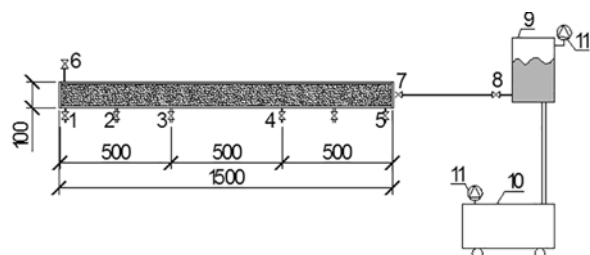


Рис. 1. Схема лабораторной установки для проведения инъекций: 1-8 – краны; 9 – бак с раствором; 10 – компрессор; 11 – манометр

торном стенде и через переходной коэффициент приводилось к методике согласно нормативного документа [6]. Согласно, нормативного документа [7] были установлены минимальные допуски значения коэффициента фильтрации равный 0,005 м/сут. При таких значениях надёжность противofильтрационных свойств грунта можно считать достаточной. Однако для локализации перечисленных выше видов загрязнений, принято, что защитный экран имеет надёжные противofильтрационные свойства при значении коэффициента фильтрации равном 0 м/сут. При постановке задачи исследования подбора компонентов инъектируемого раствора, были определены следующие требования: компоненты должны обладать гидрофобными свойствами или способностью образовывать устойчивую гидрофобную структуру; экологическая безопасность компонентов состава; технологичность при производстве работ (хорошая смешиваемость, удобство при измерении пропорций и т. д.).

Анализ поисковых экспериментов по теме работы установил, что заявленным требованиям наиболее соответствуют такие вяжущие: бентонит как вещество, при использовании, в растворе которого можно образовывать водонепроницаемые завесы; раствор из гидросиликата натрия и хлористого кальция, имеющий водоотталкивающие свойства, заполняющий собой поры и увеличивающий плотность и прочность материала; мягко-эластичная гидроизолирующая смола MC-Injekt GL-95, характеризующаяся как низковязкая, гидроструктурная на основе акрилата с регулируемым временем реакции, водонепроницаемая, стойкая к циклам замораживания-оттаивания, высокоэластичная в прореагировавшем состоянии и набухающая при воздействии воды.

Цикл испытаний включал в себя следующие этапы:

1. Подготовка лабораторного стенда к испытаниям.
2. Заполнение цилиндрического резервуара установки песчаным грунтом и приготовление инъекционного раствора.
3. Процесс инъектирования с заданными параметрами.
4. Технологический перерыв.
5. Определения коэффициента фильтрации по разработанной методике в лабораторном стенде, фиксирование результатов.

Получение экспериментальных данных происходило в несколько этапов: 1. Определение коэффициента фильтрации при инъектировании раствором, содержащим бентонит. 2. Определение коэффициента фильтрации при инъектировании раствором, содержащим гидросиликат натрия и хлористый кальций. 3. Определение коэффициента фильтрации при инъектировании раствором, содержащим гидроизолирующую смолу MC-Injekt GL-95.

По результатам экспериментов были построены диаграммы зависимости коэффициента фильтрации от давления инъекции (рис. 2-4). Каждая линия в пределах рисунка показывает, на каком расстоянии от места ввода раствора проводилось измерение показателя. По данным, представленным на рисунках, были построены полиномиальные уравнения 3-ей степени с уровнем аппроксимации $R^2 = 1$ (таблицы 1-4). В них давление P (м/с) обозначено как «X»; коэффициент фильтрации – как «Y».

Зависимость изменения коэффициента фильтрации песка, инъектированного бентонитовым раствором от давления и расстояния от инъектора представлена на рисунке 2. Аналитический вид такой зависимости показан в таблице 1.

Рассмотрим кривые графика, они отображают раз-
личное расстояние от инъектора. Каждая из них имеет
восходящее направление. Это говорит о том, что с уве-
личением давления, увеличивается коэффициент филь-
трации. Такая зависимость также прослеживается при
анализе полиномиальных уравнений (табл. 1). С увеличе-
нием аргумента «Х» (давление) увеличивается функция
«Y» (коэффициент фильтрации).

Полученные результаты показали достаточный ра-
диус распространения инъекционного состава (на всю
лабораторную установку – 3). В результате инъекции
фильтрационные свойства песчаного грунта суще-
ственно улучшаются. Однако этого недостаточно для об-
разования противofильтрационного экрана.

Зависимость изменения коэффициента фильтрации
песка, инъецированного хлористым кальцием и гидро-
силикатом натрия от давления и расстояния от инъек-
тора представлена на рисунке 3. Аналитический вид
такой зависимости показан в таблице 2.

Таблица 2. Закономерности изменения коэффици-
ента фильтрации от давления и расстояния от инъектора
при инъецировании хлористым кальцием и гидросили-
катом натрия.

Можно сделать вывод, что характер зависимостей
показателя от факторов существенно не изменился. Тем
не менее, инъецирование раствором, содержащим хло-
ристый кальций и гидросиликат натрия, позволяет сни-
зить коэффициент фильтрации для любых условий
устройства защитной завесы (в 10 раз). Это недоста-
точно для образования надежного противofильтрацион-
ного экрана.

Зависимость изменения коэффициента фильтрации
песка, инъецированного гидроизолирующей смолой MC-
Injekt GL-95 от давления и расстояния от инъектора пред-
ставлена на рисунке 4. Аналитический вид такой
зависимости показан в таблице 3.

Уравнение (табл. 3), а также кривая, полученная по
результатам испытаний, свидетельствуют о том, что инъ-
екционный раствор не распространился до точки на рас-
стоянии 1500 мм от места ввода раствора. Результаты
испытаний показывают, что на этом расстоянии значение
коэффициента фильтрации такое же, как при испытании
чистого песка. Значение коэффициента фильтрации
равно нулю на расстоянии 50, 500, 1000, 1250 мм от инъ-
ектора. Это говорит о том, что образовавшийся противof-
ильтрационный экран водонепроницаем, а радиус
распространения инъекционного раствора составляет
1,25 м.

Зависимости коэффициента фильтрации от инъек-
ционного состава и расстояния от инъектора показана
на рисунке 5. Аналитический вид таких зависимостей по-
казан в таблице 4.

В таблице 4 расстояние от инъектора обозначено
как «Х»; коэффициент фильтрации – как «Y».

На графике 5 видно, что коэффициент фильтрации
изменяется в зависимости от расстояния до инъектора и
состава инъекционного раствора. Это объясняется тем,
что в зависимости от инъекционного раствора меняется
радиус инъекции. Рассматривая каждую из кривых гра-
фика, можно увидеть, что при максимальном расстоянии
от инъектора (1500 мм.) коэффициент фильтрации имеет
максимальные значения. Такая закономерность возни-
кает из-за того, что каждый из инъекционных составов
не распространяется на максимальное расстояние от
инъектора или распространяется неравномерно.

Анализ кривой, отображающей результаты коэффи-
циента фильтрации, полученные при инъецировании
раствором гидросиликата натрия и хлористым кальцием
показывает, что инъекционный раствор распределился

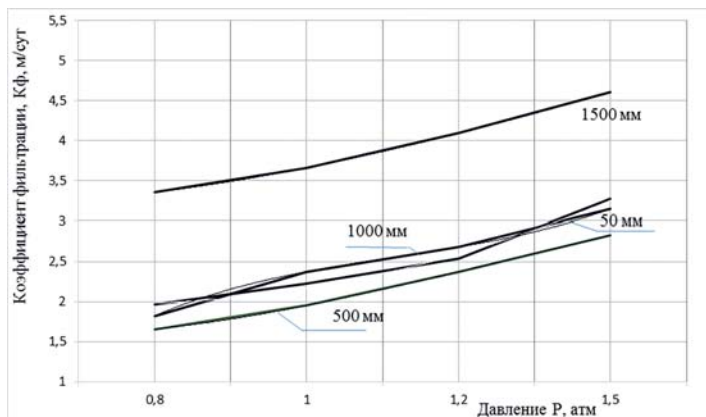


Рис. 2. Зависимость изменения коэффициента фильтрации песка, заинъецированного бентонитовым раствором от давления и расстояния от инъектора

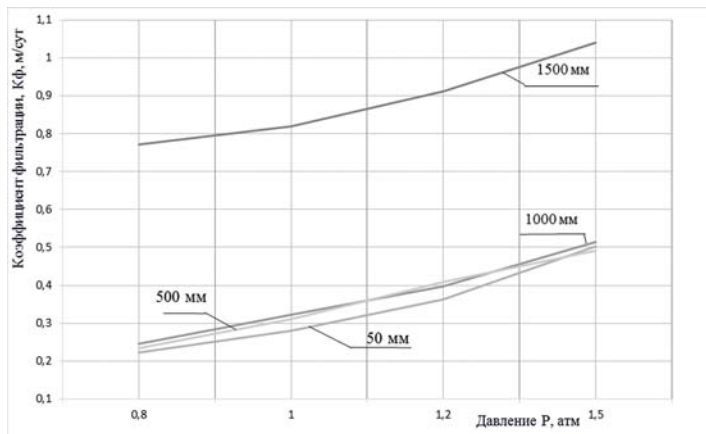


Рис. 3. Зависимость изменения коэффициента фильтрации песка заинъецированного хлористым кальцием и гидросиликатом натрия от давления и расстояния от инъектора

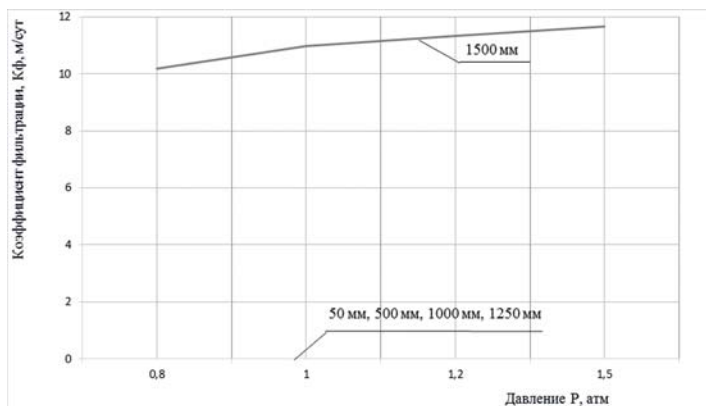


Рис. 4. Зависимость изменения коэффициента фильтрации песка заинъецированного мягко-эластичной гидроизолирующей смолой MC-Injekt GL-95 от давления и расстояния от инъектора

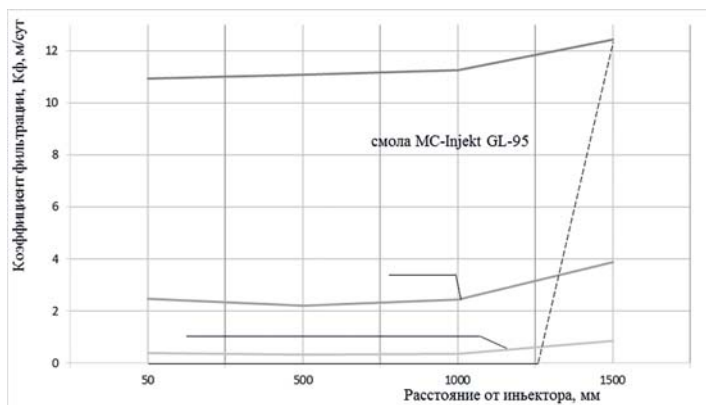


Рис. 5. Сравнение зависимостей коэффициента фильтрации песка, заинъецированного различными составами при различных расстояниях от инъектора

Таблица 1

Закономерности изменения коэффициента фильтрации от давления и расстояния от инъектора при инъектировании бентонитовым раствором

№	Формула	Расстояние от инъектора
1	$y = -0.007x^3 + 0.1038x^2 + 0.0443x + 3.215$	1500 мм
2	$y = 0.0599x^3 - 0.3287x^2 + 0.8229x + 1.4105$	1000 мм
3	$y = 0.0682x^3 - 0.532x^2 + 1.6708x + 0.6145$	500 мм
4	$y = -0.0176x^3 + 0.1712x^2 - 0.0982x + 1.602$	50 мм

Таблица 2

Закономерности изменения коэффициента фильтрации от давления и расстояния от инъектора при инъектировании хлористым кальцием и гидросиликатом натрия

№	Формула	Расстояние от инъектора
1	$y = -0.0017x^3 + 0.0333x^2 - 0.0405x + 0.7805$	1500 мм
2	$y = 0.0068x^3 - 0.041x^2 + 0.1512x + 0.1285$	1000 мм
3	$y = 0.0059x^3 - 0.0237x^2 + 0.0889x + 0.151$	500 мм
4	$y = -0.0068x^3 + 0.0525x^2 - 0.0332x + 0.221$	50 мм

Таблица 3

Закономерности изменения коэффициента фильтрации от давления и расстояния от инъектора при инъектировании изолирующей смолой MC-Injekt GL-95

№	Формула	Расстояние от инъектора
1	$y = 0.0682x^3 - 0.6277x^2 + 2.1965x + 8.54$	1250 мм

Таблица 4

Закономерности изменения коэффициента фильтрации от инъекционного состава и расстояния от места ввода раствора

№	Формула	Основной компонент раствора
1	$y = 0.1622x^3 - 0.96x^2 + 1.8888x + 9.848$	- (чистый песок)
2	$y = 0.1242x^3 - 0.5095x^2 + 0.4053x + 2.46$	бентонитовый порошок
3	$y = 0.0657x^3 - 0.35x^2 + 0.5323x + 0.14$	хлористый кальций и гидросиликат натрия
4	$y = 1.8362x^3 - 11.017x^2 + 20.198x - 11.017$	смола MC-Injekt GL-95

равномерно на максимальном расстоянии от инъектора (1500 мм.). Однако значения коэффициента фильтрации при данном инъекционном составе не являются достаточными для устройства водонепроницаемого экрана.

В полиномиальном уравнении 4 (табл. 4) значения коэффициентов, стоящих при переменных «X», указывают на низкие показатели коэффициента фильтрации. Кривая, соответствующая инъекционному составу из мягко-эластичной гидроизоляционной смолы, указывает на достижение требуемого результата. На расстоянии от инъектора 0-1250 мм значение коэффициента фильтрации равно нулю. Данный состав для инъекции позволяет создать надежный водонепроницаемый противофильтрационный экран по предлагаемой технологии.

Выводы

1. Разработанная методика исследования и оборудование позволили определить коэффициент фильтрации песка, инъектированного различными составами.

2. Полученные результаты экспериментальных исследований позволили создать графики и составить полиномиальные уравнения, определяющие закономерности влияния технологических режимов инъектирования и состава инъектируемого раствора на противофильтрационные свойства грунта.

3. Анализ графиков и уравнений позволил определить, что наиболее эффективным составом для создания противофильтрационного экрана является раствор с содержанием мягко-эластичной гидроизолирующей смолы MC-Injekt GL-95. При использовании такого раствора создаётся надёжный защитный экран с возможным максимальным радиусом инъекции 1,25 м.

Литература:

1. Пат. 2347034 С1 Российская Федерация, МПК Е 02 В 3/16. Способ защиты водных ресурсов с помощью горизонтальных (межпластовых) противофильтрационных завес и технология их сооружения / Ю.В. Пономаренко, А.А. Изотов, В.С. Кузькин, Н.А. Клименко; заявл. 30.07.2007; опубл. 20.02.2009, Бюл. № 5.
2. Пат. 2375580 С1 Российская Федерация, МКИ Е 21 F 17/00, Е 02 D 31/00. Способ сооружения подземной непроницаемой завесы / М.Н. Климентов, А.Н. Петин, С.В. Сергеев, В.С. Дрямов, Ю.В. Пономаренко; заявл. 01.08.2008; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 8.
3. Пат. 2316068 С1 Российская Федерация, МПК G 21 F 9/20. Способ защиты природных вод от радиоактивных и токсичных веществ из хранилищ жидких отходов / Е.В. Захарова, Е.П. Каймин, Л.И. Константинова, А.А. Зубков и др.; заявл. 16.03.2006; опубл. 27.01.2008, Бюл. № 3.
4. Пат. 2211283 С1 Российская Федерация, МПК7 Е 02 D 5/56, 5/20, 7/22. Способ возведения противофильтрационной инженерно-защитной конструкции / А.Н. Басиев, М.В. Зелов, А.Г. Икусов; заявл. 21.12.2001; опубл. 27.08.2003.
5. Пат. 91704 Україна, МПК (2014.01) Е 02В 3/00. Спосіб улаштування протифільтраційної завіси під спорудою / О.М. Галінський, О.І. Менейлюк, А.Ф. Петровський; заявка 26.02.2014, опубл. 10.07.2014; Бюл. № 13.
6. Грунти. Лабораторні випробування. Загальні положення: ДСТУ Б В.2.1-3-96 (ГОСТ 30416-96).
7. Грунти. Польові випробування. Загальні положення: ДСТУ Б В.2.1-6-2000 (ГОСТ 30672-99)