

РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА НА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В РАЙОНЕ СТРОИТЕЛЬСТВА НОВОГО БЕЗОПАСНОГО КОНФАЙНМЕНТА

© 2011 г. Н. И. Панасюк, А. М. Алферов, Н. Б. Стариков, И. А. Литвин, Е. П. Люшня

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Выполнен прогноз изменения гидрогеологических условий в результате проектирования свайного фундамента нового безопасного конфайнмента, перекрывающего частично естественный фильтрационный поток грунтовых вод в первом от поверхности водоносном горизонте. Прогноз выполнен численными методами математического моделирования фильтрационных процессов.

Ключевые слова: математическое моделирование, свайный фундамент, новый безопасный конфайнмент.

При проектировании оснований сооружений должны быть предусмотрены решения, обеспечивающие надежность, долговечность и экономичность сооружений на всех стадиях их строительства и эксплуатации. Для этого при проектировании кроме расчета несущей способности основания и устойчивости сооружения, выполняется оценка геолого-гидрогеологических условий строительной площадки и прогноз их изменений.

Проектирование свайного основания для нового безопасного конфайнмента (НБК) в гидродинамическом плане можно трактовать как препятствие, барраж для потока грунтовых вод. Барражный эффект может быть причиной подъема уровней грунтовых вод перед преградой по потоку и снижением за ней вследствие перекрытия фильтрационного потока подземных вод. В некоторых случаях в зависимости от гидрогеологических характеристик перекрытого водоносного горизонта и габаритов инженерного сооружения величина подпора может изменяться от нескольких сантиметров до метров и приводит к подтоплению территории и расположенных рядом зданий и сооружений, что в свою очередь может привести к изменениям напряженно-деформированного состояние грунтового массива.

Такой процесс называется техногенным подтоплением. Он возникает и развивается вследствие нарушения сложившегося природного динамического равновесия в водном балансе территории. Эти нарушения возникают в результате практической деятельности человека и на застраиваемых территориях обычно развиваются в две стадии - при строительстве и эксплуатации.

Для строительства НБК планируется устройство свайного фундамента в монтажной и сервисной зонах. В монтажной зоне предполагается производить монтаж арочной конструкции НБК, а затем переместить ее по рельсам в сервисную зону и разместить над объектом «Укрытие». Проектный срок эксплуатации фундаментов сервисной и монтажной зон 100 лет.

Свайный фундамент сервисной зоны представлен в виде двух лент симметрично расположенных относительно оси НБК (северная и южная ленты) длиной 175,275 м каждая. Сваи железобетонные диаметром 1000 мм. Длина сваи 17 м для северной ленты и 17 и 19 м для южной ленты фундаментов.

В монтажной зоне свайный фундамент представлен в виде двух лент, симметрично расположенных относительно оси НБК (северная и южная ленты), длиной 209,91 м каждая. Сваи из металлических труб диаметром 1020 мм и толщиной стенки 30 мм в верхней части сваи по длине 5 м от подошвы ростверка, на остальной части труба имеет толщину 16 мм. Длина свай 28 м.

Моделирование геофильтрационных процессов на участках строительства свайных фундаментов на региональных и локальных моделях в районе ЧАЭС не дают представления о детальных изменениях гидродинамики геофильтрационного потока грунтовых вод в пределах ширины ленты фундамента.

Для более детального рассмотрения этого процесса была создана крупномасштабная детальная модель для фрагмента свайного фундамента центрального температурного блока сервисной зоны с областью фильтрации размером 30×30 м в плане с размерами расчетных блоков, соответствующих размерам свай.

Модель, воспроизводит трехслойную область фильтрации, состоящую из двух водоносных горизонтов - верхнего безнапорного и нижнего напорного, разделенных в фильтрационном плане между собой слабопроницаемым слоем. Уравнение стационарной трехмерной фильтрации в двух водоносных горизонтах с перетоком из безнапорного водоносного горизонта в напорный описывается системой уравнений в частных производных, которые относятся к классу эллиптических уравнений математической физики

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(T_g \frac{\partial h_g}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_g \frac{\partial h_g}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(T_g \frac{\partial h_g}{\partial z} \right) - k \frac{h_g - h_n}{m} = 0, \\ k \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0, \\ \frac{\partial}{\partial x} \left(T_n \frac{\partial h_n}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_n \frac{\partial h_n}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(T_n \frac{\partial h_n}{\partial z} \right) + k \frac{h_g - h_n}{m} = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где - h_g, h_n, h - напоры в верхнем, нижнем и среднем слоях соответственно; T_g, T_n - водопроницаемости безнапорного и напорного (верхнего и нижнего) слоев; m - мощность разделяющего два водоносных горизонта слоя; k - коэффициент фильтрации разделяющего слоя. При расчетах фильтрации используется предпосылка Мятлева - Гиринского о вертикальности фильтрации через разделяющие слабопроницаемые слои.

Для численного решения систем дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа используется решение аналогичных систем конечно-разностных уравнений, в которых дифференциалы функции h по координатам пространства заменяются на малые, но конечные ее приращения по тем же координатам. Так, например, дифференциальное уравнение $k \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$ принимает вид $k \frac{\Delta^2 h}{\Delta z^2} = 0$, где $\frac{\Delta^2 h}{\Delta z^2}$ - конечная малая величина второго порядка на пути фильтрации длиной Δz , представляющая собой разность двух конечных малых величин первого порядка

$$\frac{\Delta^2 h}{\Delta z^2} = \frac{\frac{\Delta h_{1,2}}{\Delta z} - \frac{\Delta h_{2,3}}{\Delta z}}{\Delta z}. \quad (2)$$

Чтобы получить такую математическую модель, исследуемую область фильтрации разбивают системой плоскостей на элементарные сопряженные между собой блоки и все фильтрационные гидродинамические параметры относят к центру тяжести, который называется расчетным узлом. Закономерное множество расчетных узлов образует сетку. Расстояние между двумя соседними узлами $\Delta x, \Delta y$ называется шагом сетки. Процесс движения подземных вод в водоносном горизонте рассматривается как движение воды между расчетными узлами построенной сетки. Такой принцип замены непрерывной области на дискретные является основой численного решения дифференциальных уравнений фильтрации.

Для создания трехмерной конечно-разностной модели фильтрации для обоснования строительства свайных фундаментов в районе строительства НБК был использован программный комплекс Visual MODFLOW 2010.1, который во многих странах, включая Россию, утвержден как стандарт среди профессиональных приложений трехмерного моделирования потока подземных вод. Программой Visual MODFLOW предусмотрено решение разностных уравнений методом прогонки по неявной схеме.

Распределение гидроизогипс и направление векторов скорости грунтового потока, полученные в результате расчета на модели, приведены на рис. 1.

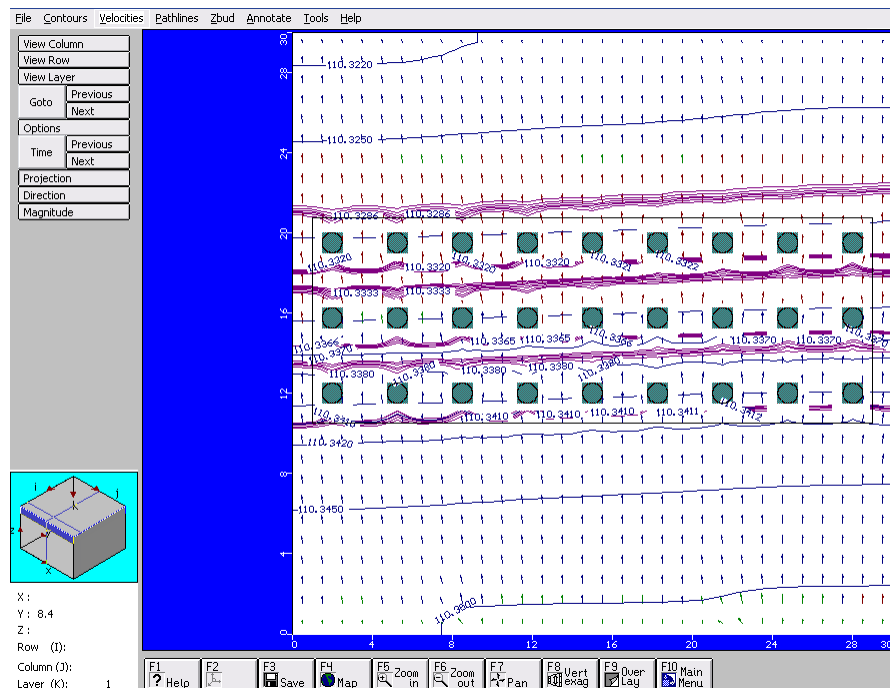


Рис. 1. Распределения расчетных значений гидроизогипс и векторов скорости грунтового потока для моделируемого фрагмента свайного фундамента центрального температурного блока сервисной зоны.

В районе рядов свай фундамента было выполнено сгущение гидроизогипс. При детальном рассмотрении рисунка в пределах полосы ряда свай отмечается искривление гидроизогипс, вызванное локальным влиянием свай на проходящий транзитом поток грунтовых вод. На рис. 1 приведены направления векторов скорости грунтового потока в слое водоносного горизонта в пределах отметок 110,3 – 114,0 м. Максимальное значение скорости наблюдается в слое с отметками 97,0 – 104,0 и составляет 0,053 м/сут. Генеральное направление вектора скорости грунтового потока сохраняется с юга на север в строгом соответствии с конфигурацией линий гидроизогипс. Градиент потока грунтовых вод в целом составляет 0,001 и только на отдельных участках претерпевает незначительные изменения.

Для изучения зоны влияния свай на деформацию потока и направлений линий тока, обтекающих сваи фундамента проектируемого НБК, был произведен расчет траекторий движения частиц маркеров в плане и по глубине. Для этого производился расчет путей фильтрации и трасс траекторий для частиц маркеров, введенных в водоносный горизонт, на отметках 110,0. Вводилось 30 маркеров на расстоянии 5 м от ленты фундамента вверх по потоку и 30 маркеров в непосредственной близости от свай (рис. 2). Приведенный на рисунке характер распределения линий тока для верхней части водоносного горизонта сохраняется и для более глубоких отметок.

Густота внесения маркеров определяется необходимостью детального отображения деформации потока. Как видно из рисунка, при заданных размерах и густоте размещения свай фундамента, зона влияния сваи на деформацию грунтового потока распространяется на расстояние 0,5 - 0,7D диаметра сваи в направлении, перпендикулярном направлению потока, и на расстояние 0,9 - 1D диаметра сваи по направлению фильтрации грунтовых вод. Стрелками показано направление движения частиц, а также обозначены интервалы, соответствующие длине пути фильтрации, сделанные частицей за 100 сут.

Выполнение расчетов с использованием траекторий движения маркеров по линиям тока на крупномасштабной модели позволяет детальнее изучить процесс фильтрации и получить уточненные скорости как для части потока, находящегося за пределами влияния свайного фундамента, так и для части потока, проходящего транзитом сквозь свайный фундамент. Действительные скорости фильтрации были рассчитаны на основе траекторий дви-

жения частиц, введенных на отметке 103,0. Скорость фильтрации потока, проходящего сквозь ленту фундамента, составила 0,047 - 0,048 м/сут. Как и предполагалось, скорости фильтрации вне зоны влияния свайного фундамента меньше и составляют 0,038 - 0,039 м/сут.

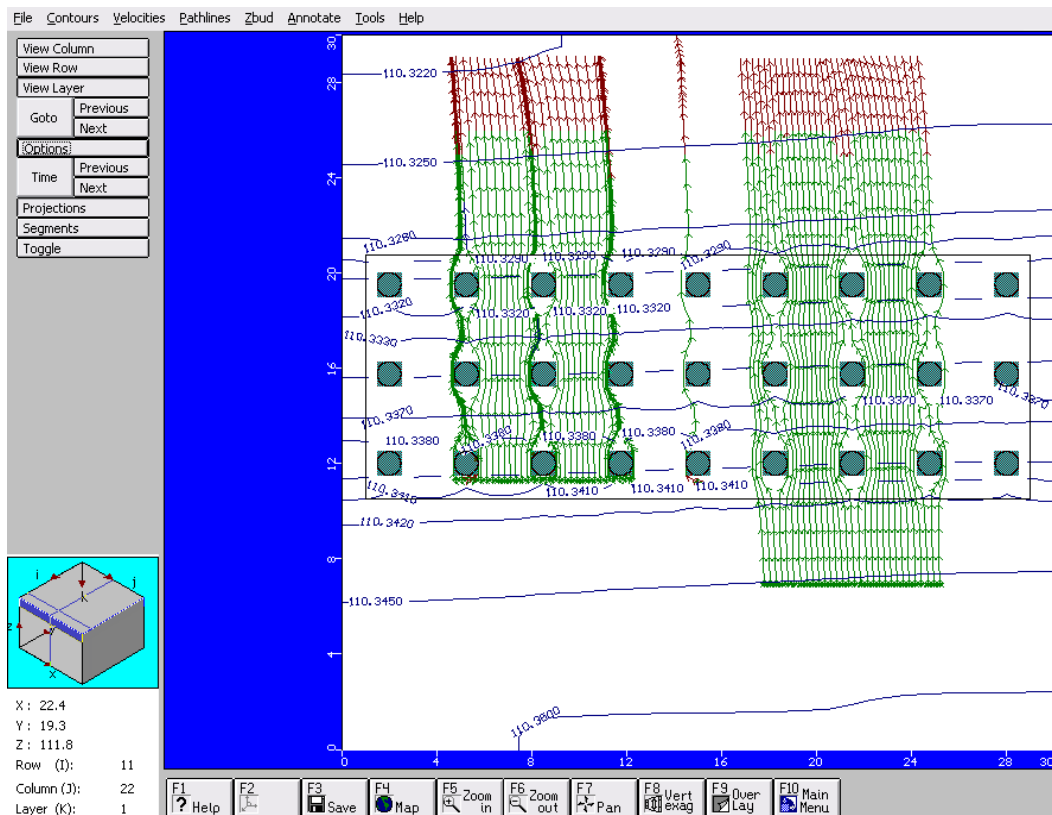


Рис. 2. Линии тока и траектории движения частиц через ленту фундамента.

Для изучения путей фильтрации по разрезу водоносного горизонта были внесены 10 частиц маркеров в вертикальном направлении с интервалом 1,7 м непосредственно перед сваей вверх по потоку. Результаты представлены на рис. 3.

Как видно из рисунка, линии тока грунтового потока при прохождении через три ряда свай значительно не отклоняются от горизонтальной оси. Траектории движения маркеров сохраняют горизонтальное направление как в верхней, так и в средней частях потока грунтовых вод. Деформации грунтового потока по вертикали при наблюдаемых скоростях фильтрации по мощности первого от дневной поверхности водоносного горизонта не отмечается.

Учитывая то, что в схеме расположения свай могут возникнуть конструктивные изменения (количество свай, их густота расположения, диаметр), что в гидрогеодинамическом плане можно трактовать как изменение степени перекрытости водоносного горизонта, возникает вопрос, при какой максимально возможной степени перекрытости водоносного горизонта не будет происходить существенное изменение гидрогеологической обстановки и не будет создаваться явление подпора.

Для ответа на этот вопрос принято решение промоделировать и рассчитать уровни водоносного горизонта при разном расположении свай на локальной модели для области фильтрации размером 520 × 520 м. Сваи могут иметь разный диаметр, интервал и глубину заложения, поэтому вариантов степени перекрытости существует много. Для моделирования были приняты худшие условия, когда сваи перекрывают водоносный горизонт на всю его мощность и расположены без интервалов. На локальной модели сервисной зоны ряд свай был задан в северной ленте как сплошная водонепроницаемая стена в грунте шириной 1 м, длиной 169 м, перекрывающая весь водоносный горизонт до водоупора (рис. 4).

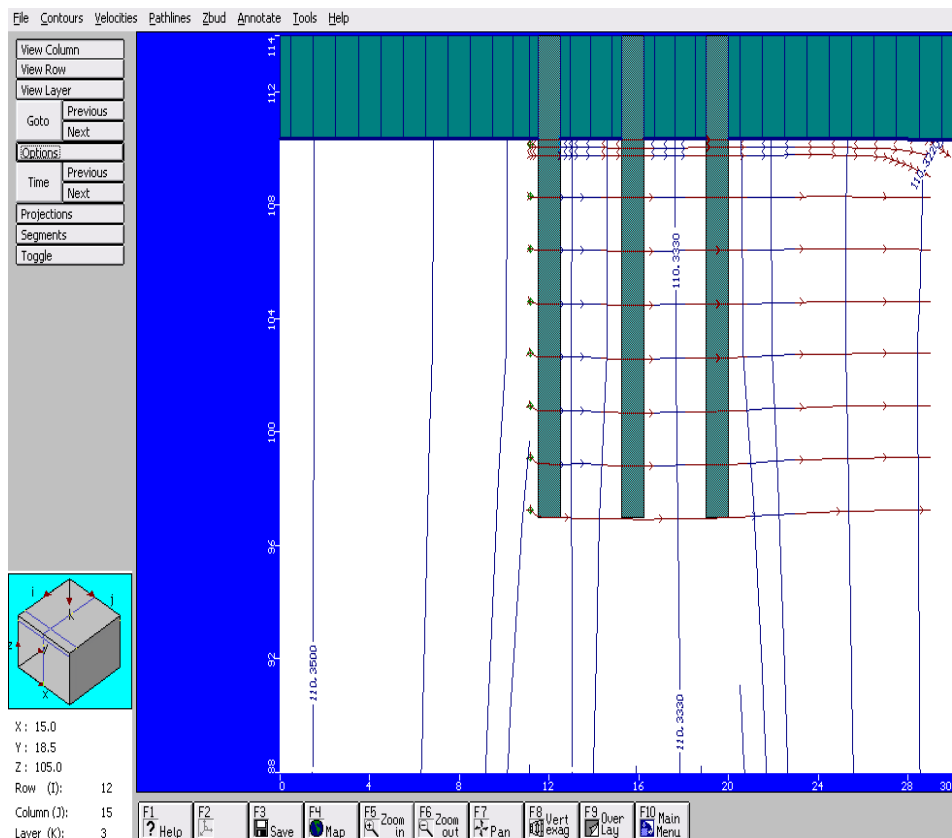


Рис. 3. Траектории направления движения частиц по глубине.

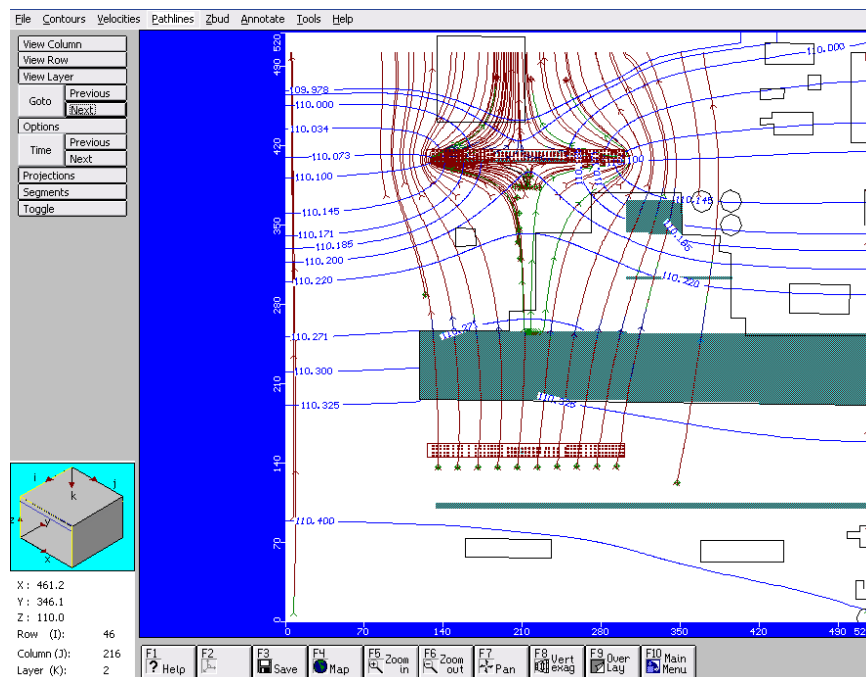


Рис. 4. Распределение гидроизогипс и линий токов в плане при создании на участке северной ленты фундамента «стены в грунте».

Как видно из гидродинамической сетки (см. рис. 4), на которой линии равных напоров (гидроизогипсы) перпендикулярны линиям тока (траектории трассеров), при создании непроницаемого контура вблизи объекта «Укрытие» происходят значительные изменения в характере и направлении грунтового потока. При этом линии тока суть половины эллипсов, а эквипотенциалы (гидроизогипсы) – ортогональные к ним гиперболы. Контур сплошного

фундамента (стены в грунте) является непроницаемой внутренней границей для области фильтрации, градиент напора по нормали к этой границе равен 0, т.е. $\frac{\partial H}{\partial n} = 0$.

По результатам моделирования градиент напора по центру непроницаемой границы шириной 1 м между напором выше по потоку и ниже достигает значения 0,2. На остальной территории сохранится существующий уклон поверхности подземных вод, который составляет 0,001. За счет боковой фильтрации, которая обеспечивает транзит потока в обход водонепроницаемой границы, скорости фильтрации достигают 0,27 м/сут и приурочены к зоне повышения градиента напора. Область, где происходит существенное изменение напорного градиента, скоростей и направления фильтрации, расположена в северной части модели. В результате подпора грунтовых вод водонепроницаемым препятствием уровень грунтовых вод под объектом «Укрытие» поднимется на 5 – 13 см по сравнению с бытовой (существующей) гидрогеологической обстановкой.

Проведенные исследования численными методами математического моделирования влияния строительства свайного основания, заглубленного под уровень грунтовых вод первого от дневной поверхности водоносного горизонта в плиоцен-четвертичных отложениях, показали, что в сервисной зоне при принятой конструкции свайного фундамента ожидать существенных изменений в сложившейся гидрогеологической обстановке не приходится. Заметного роста уровней и напоров грунтовых вод под объектом «Укрытие» в результате подпора не отмечается. Полученные на модели данные могут наблюдаться только при условии сохранения сложившегося баланса подземных вод в районе объекта «Укрытие». При изменении этих условий необходимо провести новые исследования на геофильтрационных моделях.

Наблюдаемые удлинения путей фильтрации при прохождении грунтового потока через ленты фундамента могут привести к увеличению времени миграции транспорта солей, растворов, загрязнений, попавших по разным причинам в первый от поверхности водоносный горизонт в сторону разгрузки водоносного горизонта в пределах длины лент свайного фундамента.

РЕЗУЛЬТАТИ ДЕТАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТУ НА ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ В РАЙОНІ БУДІВНИЦТВА НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТА

М. І. Панасюк, А. М. Алфьоров, М. Б. Стариков, І. А. Литвин, Є. П. Люшня

Виконано прогноз зміни гідрогеологічних умов у результаті проектування свайного фундаменту нового безпечного конфайнмента, що перекриває частково природний фільтраційний потік грунтових вод у першому від поверхні водоносному горизонті. Прогноз виконано чисельними методами математичного моделювання фільтраційних процесів.

Ключові слова: математичне моделювання, свайний фундамент, новий безпечний конфайнмент.

RESULTS OF DETAILED MODELING OF INFLUENCE PILE FOUNDATIONS IN HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS IN THE NEW SAFETY CONFINEMENT DISTRICT CONSTRUCTION

M. I. Panasyuk, A. M. Alfyorov, M. B. Starikov, I. A. Litvin, E. P. Liushnya

Completed forecast changes in hydrological conditions as a result of the design of pile foundation new safety confinement, partially overlapping the natural flow of groundwater seepage in the first from the surface of the aquifer. Forecast made by mathematical modeling of filtration processes, numerical methods.

Keywords: mathematical simulation, pile foundation, new safety confinement.

Поступила в редакцію 10.02.11