

*Тарасенко А.А., канд. техн. наук, докторант, УЦЗУ*

## **ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ СУБМОДЕЛИ ПРИЗЕМНОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА – ВХОДНОГО ПАРАМЕТРА МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ОБЛАСТИ ЧС**

(представлено д-ром техн. наук Кривцовой В.И.)

На основании проведения серии натуральных экспериментов подтверждена теоретическая модель [1] приземной скорости ветра. Описаны условия и методика проведения эксперимента, получены параметры точности теоретической модели.

**Постановка проблемы.** При моделировании ряда природных и природно-техногенных чрезвычайных ситуаций (ландшафтных пожаров в горной или холмистой местности, выбросов загрязняющих (радиоактивных, химических, бактериологических) веществ, разливов нефтепродуктов в прибрежной зоне) в качестве одного из входных параметров используется векторное поле скорости ветра [2]. Известно [3], что рельеф местности существенно деформирует приземное поле ветра, делая его неоднородным, что необходимо учитывать при построении моделей динамики границ области ЧС, тем самым, повышая эффективность действий подразделений МЧС при их локализации и ликвидации.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Описание неоднородного поля приземного ветра дано в [3], но отсутствие математической модели поверхности рельефа делает его малоценным.

В работе [1] получена модель пограничного векторного поля скорости ветра над поверхностью рельефа, которая до сих пор не получила экспериментального подтверждения.

**Постановка задачи и ее решение.** Путем сравнения теоретических и опытных данных, полученных при проведении серии натуральных экспериментов, необходимо оценить точность модели [1]. Определение точности модели [1] скорости приземного ветра производилась путем сравнения теоретических результатов с экспериментально полученными значениями при одинаковых параметрах метеорологического ветра. Затруднением при экспериментальной проверке модели явилась невозможность кратного воспроизведения одних и тех же неуправляемых входных парамет-

ров, каковими являються направление и скорость метеорологического ветра.

Опытные данные получены в результате проведения серии натуральных экспериментов на местности с выраженным рельефом (балка Терновая у юго-восточной окраины г. Харькова; координаты -  $36^{\circ}25'$  в.д.,  $49^{\circ}55'$  с.ш.; тип рельефа относится к отрицательной форме и является типичным для лесостепной зоны Украины; максимальная крутизна склонов не превышает  $20^{\circ}$ ; карта балки приведена на рис. 1). Склоны балки в основном свободны от древесной и кустарниковой растительности, измерения производились на открытых пространствах, в условиях  $\sim 5$  см снежного покрова, что уменьшало влияние шероховатости подстилающей поверхности на поле приземного ветра. В связи с этим искажением поля ветра растительностью можно пренебречь. Дни проведения эксперимента подбирались по погодным условиям так, чтобы метеорологический ветер оставался слабопорывистым, близким к постоянному как по направлению, так и по скорости.

За границей северного окончания балки на открытом равнинном возвышении расположен стационарный метеопункт, где осуществлялись последовательные измерения осредненных (интервал осреднения – 3 мин) значений скорости и направления приземного анемометрического (на высоте 2 м) ветра  $\bar{v}_m$ . Данный ветер, невозмущенный рельефом, будем называть метеорологическим. Знание параметров метеорологического ветра позволило разложить вектор скорости на  $v_{mx}$ - и  $v_{my}$ -компоненты в введенной системе декартовых координат ( $v_{mz}$ -компонента полагалась равной 0). Эти данные использовались в качестве входных параметров модели [1] при вычислении расчетных значений компонент скорости ветра  $\bar{v}_t$  в контрольных точках балки.

Синхронно с измерениями скорости  $\bar{v}_m$  проводились замеры горизонтальной составляющей осредненной скорости локального (искаженного рельефом) анемометрического ветра  $\bar{v}_e$  в одной из заранее определенных точек на склонах и дне балки (рис. 2). Натурные измерения производились в 17 точках северной (рис. 1, 2), 12 точках центральной и 9 точках южной частей балки при различных значениях скорости и направлениях метеорологического ветра (данные для части измерений в северной оконечности балки приведены в табл. 1).

Измерения как метеорологического, так и локального ветра осуществлялись с помощью чашечных румбоанемометров МС-13 (диапазон измерений  $1-20 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ ) согласно прилагаемой к прибору инструкции по измерению скорости ветра.

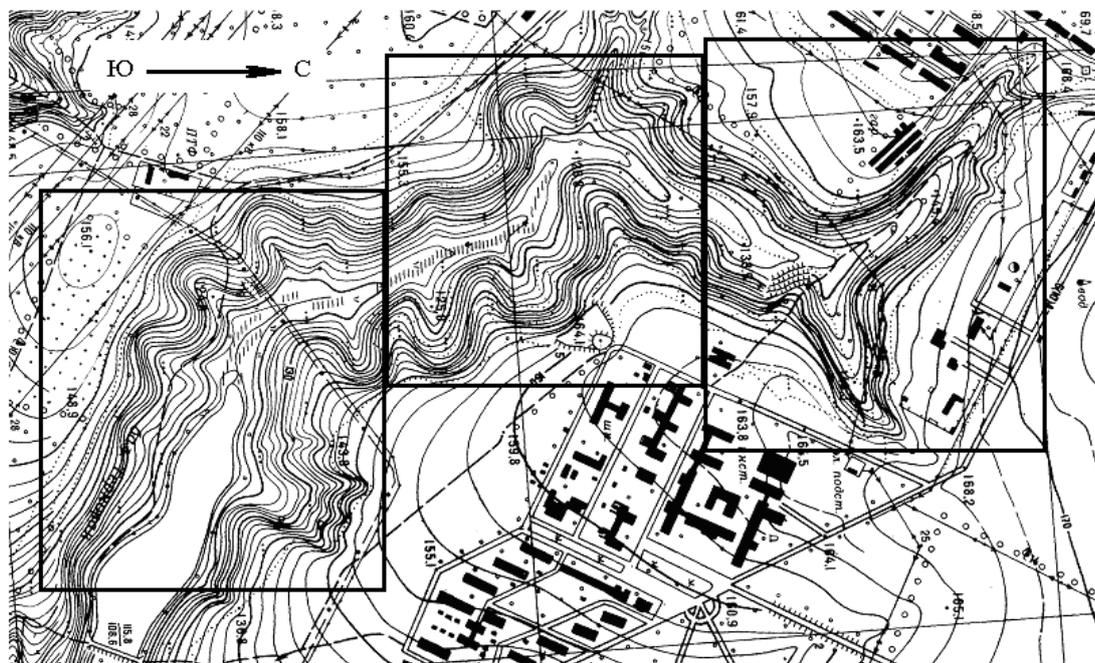


Рис. 1 – План местности, на которой производился эксперимент

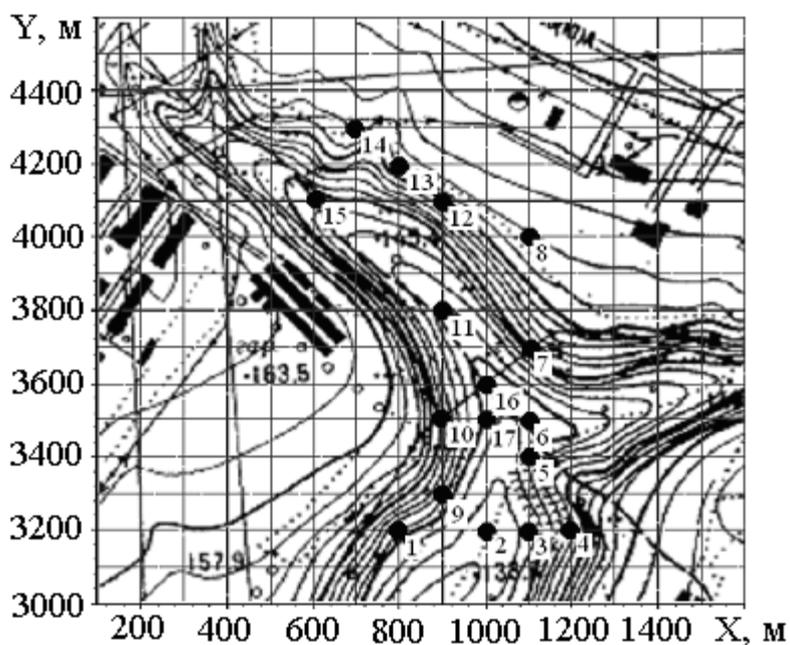
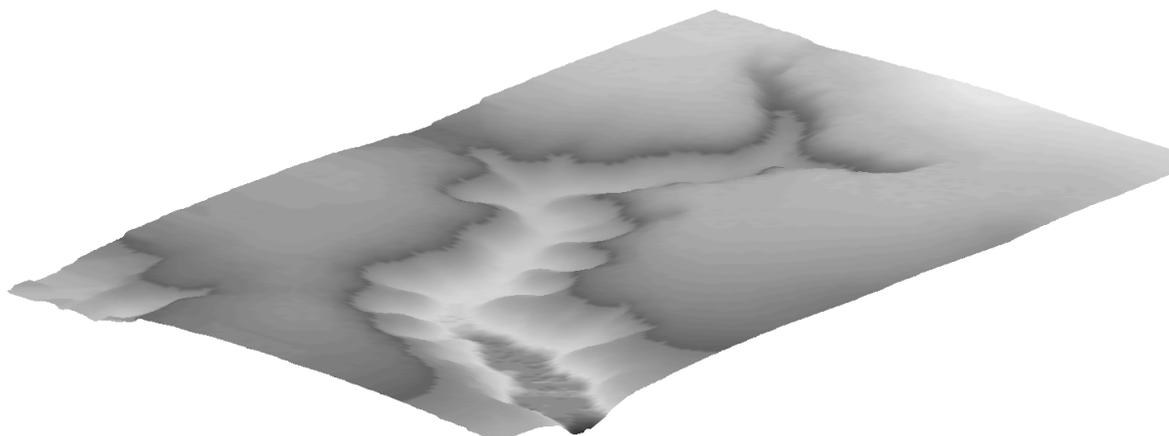


Рис. 2 – Точки натуральных замеров скорости локального ветра для северной части балки

Полученные экспериментальные данные для локального ветра сравнивались с теоретическими. Последние получались по следующему алгоритму. Располагая подробным планом данной местности, осуществлялось получение цифровой модели рельефа, согласно модели [4]. Для этого была произведена векторизация линий уровня в местной системе координат с высотной привязкой, после чего получена интерполяция поверхности рельефа  $S(x,y)$  на сетке  $100 \times 100$  м (рис. 3). Затем на данной поверхности моделировалась скорость ветра с заданными входными значениями компонент метеорологического ветра.

В связи с вычислительными ограничениями на количество узлов, моделирование осуществлялось отдельно для северной, центральной и южной частей балки. Расчетное поле локального ветра для северной части балки при одном из значений метеорологического ветра показано на рис. 5.



**Рис. 3 – Результат интерполяции поверхности рельефа балки**

Моделирование скорости ветра осуществлялось в узлах сетки  $100 \times 100 \times 2$  м согласно алгоритму [1], а натурные измерения осуществлялись в точках балки, которые могли быть привязанными к модельным узлам сетки с помощью картированных ориентиров на местности.

Наибольшая относительная погрешность модели по результатам 114 измерений в 38 точках балки в диапазоне скорости метеорологического ветра  $1,3 \div 13,8$  м/с составила 34,2%. При этом минимальная погрешность (5,6%) наблюдалась в середине данного диапазона скоростей (при 8,3 м/с).

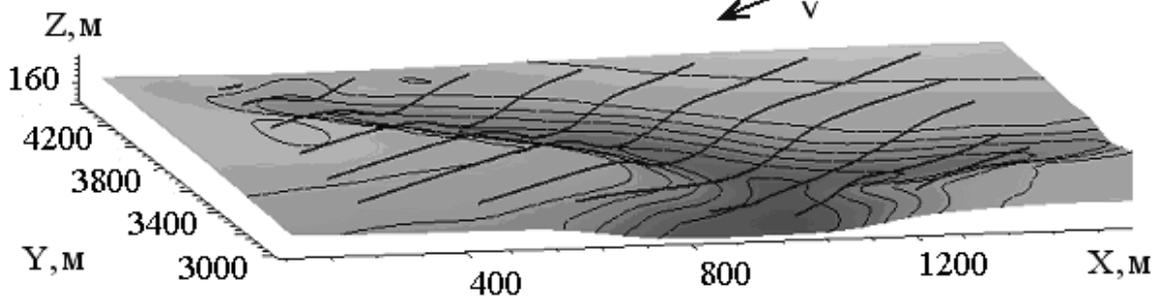


Рис. 4 – Расчетные линии тока приземного ветра

Источником рассогласования теоретических и экспериментальных данных могут служить неточность модели скорости ветра (предполагается потенциальный характер течения), непостоянство скорости ветра, неточность модели рельефа, игнорирование шероховатости подстилающей поверхности, погрешность измерений.

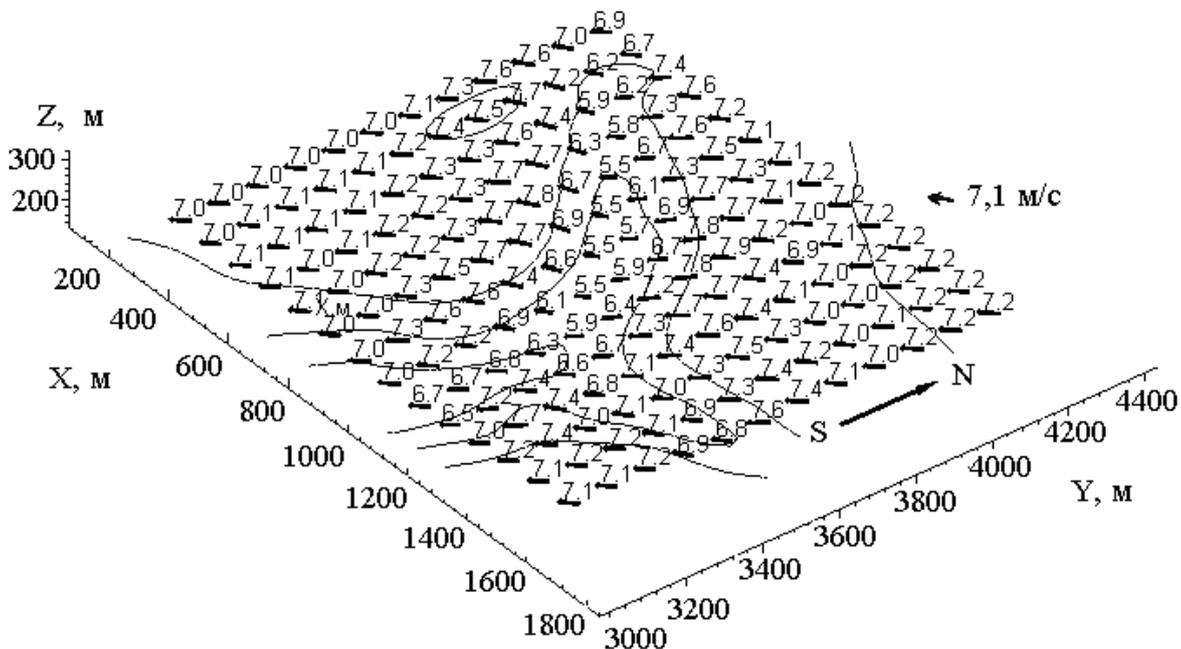


Рис. 5 – Результат моделирования поля скорости ветра в приземном слое для северной части балки

В то же время, достаточно высокая точность может быть объяснена достаточно продолжительным интервалом осреднения, который приводит к нивелированию амплитудных флуктуаций скорости ветра.

**Таблиця 1 – Сравнительные результаты измерения и расчета скорости и направления ветра для северной части балки**

| № точки | $\bar{U}_m$ ,<br>м · с <sup>-1</sup><br>напр.,<br>румб | $\bar{U}_e$ ,<br>м · с <sup>-1</sup><br>напр.,<br>румб | $\bar{U}_t$ ,<br>м · с <sup>-1</sup><br>напр.,<br>румб | $\bar{U}_m$ ,<br>м · с <sup>-1</sup><br>напр.,<br>румб | $\bar{U}_e$ ,<br>м · с <sup>-1</sup><br>напр.,<br>румб | $\bar{U}_t$ ,<br>м · с <sup>-1</sup><br>напр.,<br>румб | $\bar{U}_m$ ,<br>м · с <sup>-1</sup><br>напр.,<br>румб | $\bar{U}_e$ ,<br>м · с <sup>-1</sup><br>напр.,<br>румб | $\bar{U}_t$ ,<br>м · с <sup>-1</sup><br>напр.,<br>румб |
|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 1       | 7.1,<br>С-В  | 6.7,<br>С-В  | 7.0,<br>С-В  | 9.8,<br>С-С-В  | 9.4,<br>С-С-В  | 9.6,<br>С-С-В  | 1.9,<br>С  | 1.6,<br>С  | 1.7,<br>С  |
| 2       | 7.1,<br>С-В  | 6.8,<br>С-В  | 6.9,<br>С-В  | 9.8,<br>С-С-В  | 9.6,<br>С-С-В  | 9.7,<br>С-С-В  | 1.9,<br>С  | 1.5,<br>С  | 1.8,<br>С  |
| 3       | 7.1,<br>С-В  | 6.5,<br>С-В  | 6.7,<br>С-В  | 9.8,<br>С-С-В  | 9.4,<br>С-С-В  | 9.5,<br>С-С-В  | 1.9,<br>С  | 1.6,<br>С  | 1.8,<br>С  |
| 4       | 7.2,<br>С-В  | 7.4,<br>С-В  | 7.1,<br>С-В  | 9.9,<br>С-С-В  | 10.1,<br>С-С-В   | 9.9,<br>С-С-В  | 1.9,<br>С  | 1.7,<br>С  | 1.9,<br>С  |
| 5       | 7.2,<br>С-В  | 6.7,<br>С-В  | 6.8,<br>С-В  | 9.8,<br>С-С-В  | 9.6,<br>С-С-В  | 9.6,<br>С-С-В  | 2.8,<br>С  | 2.5,<br>С  | 2.6,<br>С  |
| 6       | 7.2,<br>С-В  | 6.0,<br>С-В  | 6.2,<br>С-В  | 9.8,<br>С-С-В  | 8.7,<br>С-С-В  | 8.8,<br>С-С-В  | 3.8,<br>С  | 3.2,<br>С  | 3.5,<br>С  |
| 7       | 7.3,<br>С-В  | 7.0,<br>С-В  | 7.2,<br>С-В  | 9.8,<br>С-С-В  | 9.4,<br>С-С-В  | 9.8,<br>С-С-В  | 4.8,<br>С  | 4.1,<br>С  | 4.0,<br>С  |
| 8       | 7.3,<br>С-В  | 7.3,<br>С-В  | 7.5,<br>С-В  | 9.7,<br>С-С-В  | 9.5,<br>С-С-В  | 10.0,<br>С-С-В   | 4.8,<br>С  | 4.8,<br>С  | 5.0,<br>С  |
| 9       | 7.1,<br>С-В  | 7.3,<br>С-В  | 7.4,<br>С-В  | 9.7,<br>С-С-В  | 10.1,<br>С-С-В   | 10.3,<br>С-С-В   | 4.9,<br>С  | 5.0,<br>С  | 5.0,<br>С  |
| 10      | 7.1,<br>С-В  | 6.6,<br>С-В  | 6.9,<br>С-В  | 9.6,<br>С-С-В  | 9.3,<br>С-С-В  | 9.8,<br>С-С-В  | 4.9,<br>С  | 5.0,<br>С  | 5.1,<br>С  |
| 11      | 7.1,<br>С-В  | 5.6,<br>С-В  | 5.7,<br>С-В  | 9.6,<br>С-С-В  | 8.2,<br>С-С-В  | 8.3,<br>С-С-В  | 4.9,<br>С  | 4.2,<br>С  | 4.5,<br>С  |
| 12      | 7.1,<br>С-В  | 7.4,<br>С-В  | 7.5,<br>С-В  | 9.5,<br>С-С-В  | 10.1,<br>С-С-В   | 10.3,<br>С-С-В   | 4.9,<br>С  | 5.0,<br>С  | 5.2,<br>С  |
| 13      | 7.0,<br>С-В  | 7.1,<br>С-В  | 7.3,<br>С-В  | 9.6,<br>С-С-В  | 9.6,<br>С-С-В  | 10.1,<br>С-С-В   | 4.9,<br>С  | 4.9,<br>С  | 5.1,<br>С  |
| 14      | 7.0,<br>С-В  | 7.2,<br>С-В  | 7.3,<br>С-В  | 9.6,<br>С-С-В  | 10.0,<br>С-С-В   | 10.2,<br>С-С-В   | 4.9,<br>С  | 5.1,<br>С  | 5.2,<br>С  |
| 15      | 7.1,<br>С-В  | 7.0,<br>С-В  | 6.9,<br>С-В  | 9.7,<br>С-С-В  | 9.2,<br>С-С-В  | 9.5,<br>С-С-В  | 4.9,<br>С  | 4.9,<br>С  | 4.9,<br>С  |
| 16      | 7.0,<br>С-В  | 5.1,<br>С-В  | 5.5,<br>С-В  | 9.8,<br>С-С-В  | 8.0,<br>С-С-В  | 8.6,<br>С-С-В  | 4.7,<br>С  | 4.3,<br>С  | 4.5,<br>С  |
| 17      | 7.1,<br>С-В  | 6.1,<br>С-В  | 6.1,<br>С-В  | 9.8,<br>С-С-В  | 9.9,<br>С-С-В  | 9.1,<br>С-С-В  | 4.8,<br>С  | 4.4,<br>С  | 4.7,<br>С  |

Для данного типа рельефа экспериментально подтверждены закономерности, выявленные при компьютерном моделировании

Оценка адекватности субмодели приземной скорости ветра – входного параметра модели динамики области ЧС

локального ветра. В частности, - фактор рельефа приводит к деформации поля скорости ветра. Значения скорости локального ветра могут существенно (в 1.6 раза) уменьшаться на дне балки и в 1.4 раза увеличиваться на ее склонах в сравнении со скоростью метеорологического ветра (в указанном ранее диапазоне). Расчетные линии тока приземного ветра (рис.4) почти параллельны поверхности рельефа (для отрицательной его формы и крутизне склона менее  $20^\circ$ ). Некоторое их сгущение (по вертикали) наблюдается с наветренной стороны, а разрежение – с подветренной и в низине, что согласуется как с теоретическими положениями аэродинамики, так и наблюдениями [3,5]. При этом для данного типа рельефа не наблюдается существенное искажение направления горизонтальной составляющей скорости ветра.

**Выводы.** На основе сравнения экспериментальных и теоретических значений компонент неоднородного векторного поля скорости ветра показана правомочность использования модели [1]. Относительная погрешность модели не превышает 34,2% в диапазоне скоростей метеорологического ветра  $1,3 \div 13,8$  м/с.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А., Тарасенко А.А. Математическая модель локальных воздушных течений над поверхностью рельефа // Науковий вісник будівництва. Вип. 45.– Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2008. – С. 132-139.
2. Тарасенко А.А. Модель динамики кромки ландшафтного пожара с учетом пространственно-неоднородного поля ветра // Науковий вісник будівництва. Вип. 48.– Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2008. – С. 286-291.
3. Дородицын А.А. Влияние рельефа земной поверхности на воздушные течения // Труды Центрального института прогнозов. Вып. 21. - М.: ЦИП, 1950. – С. 3-25.
4. Абрамов Ю.А., Тарасенко А.А. Формирование априорной информации для систем ликвидации последствий чрезвычайной ситуации // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 6. – Харків: УЦЗУ, 2007.- С. 11-22.
5. Валендик Э.Н. Ветер и лесной пожар. М.: Наука, 1968. – 118 с.  
nuczu.edu.ua