

# СИСТЕМО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМИРОВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ АВАРИИ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНОМ ОБЪЕКТЕ

Р. А. Дурнев<sup>а</sup>, доктор техн. наук, доцент

А. С. Котосорова<sup>а</sup>, младший научный сотрудник

Р. Л. Галиуллина<sup>а</sup>, лаборант-исследователь

<sup>а</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, Москва, РФ

**Постановка проблемы:** одним из путей оповещения населения об угрозе чрезвычайных ситуаций является рассылка сообщений с предупреждающей информацией на сотовые телефоны. Трудности реализации данного пути связаны с установлением рациональной частоты рассылки сообщений для различных категорий населения и видов чрезвычайных ситуаций, а также оценкой отдельных психологических аспектов обработки человеком предупреждающей информации. Целью работы является разработка модели информирования населения, позволяющей оценить соотношение различных психологических аспектов понимания и усвоения людьми информации о защите в чрезвычайных ситуациях, а также рациональную частоту доведения такой информации. Для достижения данной цели необходимо провести анализ результатов научных исследований в области информирования населения; определить методические основы для разработки модели, обосновать ее исходные положения, предпосылки и допущения; разработать структуру и содержание модели и установить аналитические зависимости между частотой доведения информации и результатами действий населения. **Результаты:** разработана модель информирования населения при химической аварии. В связи с наличием нелинейных и обратных связей между количеством сообщений и результативностью действий населения при химической аварии в основу модели положен метод системной динамики. В соответствии с данным методом население в зоне химической аварии представлено в виде потоков людей, переходящих в состояния «население в опасной зоне», «население поражено», «население не поражено», «погибло» и «спасено». Темпы таких потоков регулируются скоростью распространения опасности и вероятностью правильных действий населения. Скорость распространения опасности определяется скоростью движения облака зараженного воздуха, концентрацией опасного вещества и временем его воздействия на население. Вероятность правильных действий зависит от правильности понимания, степени усвоения предупреждающей информации, затрат времени на ее обработку, а также успешности защиты после информирования. Процесс информирования населения в условиях химической аварии представлен в виде потока сообщений, связанного с потоком людей через вероятность правильных действий. Изменяя темпы потока сообщений, можно определить такую частоту информирования, при которой поражение и гибель населения будут минимальны. **Практическая значимость:** результаты моделирования будут положены в основу рекомендаций по информированию различных категорий населения в условиях чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера.

**Ключевые слова** — системная динамика, авария, химически опасный объект, вероятность поражения, информирование населения, сообщение, защитные действия.

## Введение

Анализ показывает, что одним из возможных путей оповещения населения об угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС) является рассылка сообщений на сотовые телефоны с использованием сервисов SMS, Live Screen, Cell Broadcast и др. Основные проблемы реализации данного пути связаны не с организационно-техническими аспектами, а с психофизиологическим и психосемантическим характером мотивации населения к приему сообщений, их правильным восприятием, осмыслением и инициированием последующих действий по защите в ЧС [1].

В работе [2] сформулирована научная задача по обоснованию рациональных параметров текстовых сообщений сотовой связи для оповещения населения при ЧС и описана методика решения. Суть ее заключается в том, что процесс информирования населения представляется в виде «черного ящика». В качестве его «входа» рассматри-

ваются контролируемые факторы, определяемые параметрами ЧС и характеристикой реципиента информации; неопределенные факторы, связанные со случайным характером ЧС и нечеткостью восприятия информации; управляющие факторы, включающие параметры текстового сообщения, а в качестве «выхода» — риск поражения населения при реализации действий по защите после получения сообщения. Варьируя управляющими факторами при фиксировании контролируемых и учете неопределенных факторов, можно определить рациональные параметры сообщения для каждого типа ЧС и группы населения.

Для реализации данного замысла было проведено практическое исследование, в ходе которого выполнялся социологический опрос студентов МАТИ-РГТУ им. К. Э. Циолковского с разными уровнями подготовки в области безопасности жизнедеятельности [3]. В ходе опроса студентам раздавались анкеты, состоящие из двух частей — вводной информации о ЧС и перечня защитных

действий, из которого они, в соответствии с вводной информацией, должны были выбрать правильные. После обработки результатов опроса были сформулированы рациональные текстовые сообщения для повышения безопасности действий людей в условиях ЧС (на примере аварии на химически опасном объекте (ХОО)).

Разработанный подход [1–3] позволяет обосновать рациональные параметры текстовых сообщений, но, к сожалению, с помощью него невозможно определить другие параметры информирования населения при ЧС.

Так, например, неизвестна частота рассылки данных сообщений (количество в единицу времени) для различных категорий населения и видов ЧС. Очевидно, что недостаточная частота не позволит доводить до населения актуальную информацию о развитии опасности, изменениях обстановки, текущем характере и направлении действия поражающих факторов (ПФ), мерах, предпринимаемых спасательными службами, и т. п., а также достигать требуемой степени усвоения информации.

В то же время избыточное количество сообщений будет отвлекать человека от правильных действий в условиях жесткого дефицита времени при угрозе или воздействии ПФ, осложнять понимание сообщений в случае даже незначительного изменения их содержания (особенно при слабом уровне подготовки), запутывать его поведение при неизбежных противоречиях в семантике этих сообщений и т. п.

В качестве примеров для конкретизации данной проблемы можно взять информирование населения при землетрясении и аварии на ХОО. Так, при землетрясении ПФ действуют практически мгновенно и приводят к массовым повреждениям и разрушениям зданий и сооружений, гибели людей, блокированию их в завалах, состоящих из обломков строительных конструкций. При условии отсутствия угрозы повторных сейсмических толчков обстановка в зоне землетрясения, как правило, изменяется незначительно и в основном в сторону ее улучшения (локализуются пожары и тления в завалах, разбираются завалы, укрепляются неустойчивые конструкции зданий, деблокируются и извлекаются пострадавшие). В этом случае нет необходимости в плотном потоке предупреждающей информации, достаточно отдельных сообщений о правилах поведения при возможных повторных толчках, местах нахождения пунктов жизнеобеспечения, спасательных служб.

При аварии на ХОО, связанной с проливом или выбросом аварийно химически опасных веществ (АХОВ), образуются первичные и, в ряде случаев, вторичные облака зараженного воздуха. Параметры образования этих облаков слу-

чайны, что определяется видом и количеством вещества, условиями его хранения, состоянием атмосферы, подстилающей поверхности, характером мер безопасности на объекте и многими другими факторами. Еще в большей степени случайны траектории движения этих облаков, зависящие, в том числе, от атмосферной устойчивости приземных слоев воздуха, направлений ветра на различных высотах, рельефа местности, характера застройки (геометрических форм, размеров, высот зданий и сооружений, плотности застройки), воздушных потоков в населенных пунктах и др. В связи с динамическим характером указанных случайных факторов обстановка в зоне заражения часто меняется (например, при изменении направления или скорости приземного ветра иными становятся траектория и характер движения облака АХОВ). В этом случае поток информирования должен быть более плотным — сообщения должны отражать основные изменения обстановки в зоне заражения, предписывать адекватные меры защиты, предупреждать панические настроения в условиях дефицита информации.

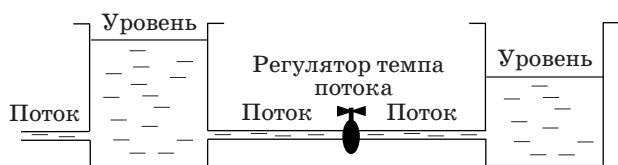
Кроме того, рассмотренный подход [1–3] не позволяет оценить отдельные психофизиологические и психосемантические аспекты «обработки» человеком предупреждающей информации — закономерности ее понимания, усвоения, реализации последующих действий, не понятен их общий вклад в реализацию защитных мер и многое другое.

При этом необходимо отметить наличие нелинейных связей (между числом сообщений, например, и правильностью действий по защите от ПФ), обратных связей (увеличение потока информации может привести к ухудшению процесса ее понимания), а также различных задержек, опозданий в реализации защитных мероприятий из-за затрат времени на осмысление сообщений и т. п.

В связи с этим для обоснования рациональной частоты рассылки сообщений с предупреждающей информацией, оценки влияния психофизиологических и психосемантических аспектов ее восприятия и усвоения представляется целесообразным использовать метод системной динамики [4–7], позволяющий учитывать изменения в сложных системах, обусловленные обратными, нелинейными связями и связями с задержкой.

### Основы моделирования с использованием метода системной динамики

В соответствии с методом системной динамики сложная система представляется в виде уровней какого-либо ресурса, потоков этого ресурса и темпа потока ресурса (рис. 1).



■ **Рис. 1.** Гидродинамическая аналогия метода системной динамики

Уровни характеризуют текущие значения ресурса внутри системы и представляют собой значения переменных, накопленные в результате разности между входящими и исходящими потоками. Для оценки влияния информирования населения на его безопасные действия в ЧС необходимо рассмотреть уровни населения в различных состояниях (не поражено, поражено, спасено и т. п.) и информированности об опасности и порядке действий.

Сами потоки характеризуют перемещение ресурса от одного уровня к другому (например, населения из состояния «поражено» в состояние «спасено»), а темпы потоков — скорости изменения уровней, перемещающие содержимое одного уровня к другому. Применительно к решаемой задаче темпы потоков измеряются в количестве человек и числе сообщений в единицу времени.

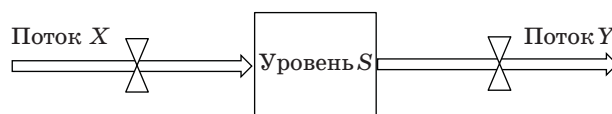
Регуляторы темпа потока (функции решений) имеют, как правило, форму уравнений, определяющих реакцию потока на состояние одного или нескольких уровней, и обеспечивают заданный темп потока. Например, темп «потока людей» из уровня «поражено» в уровень «спасено» зависит, в том числе, и от правильности действий населения.

В этой связи в рассматриваемом методе динамику поведения сложной системы можно свести к изменению значений уровней, а сами изменения регулировать потоками, наполняющими или исчерпывающими уровни. Все изменения в системе обуславливаются «петлями обратной связи», соединенными в большинстве случаев нелинейно. Под данными петлями понимают замкнутые цепочки взаимодействий, которые связывают исходные действия с его результатом [5]. Если изменение исходного действия вызывает непропорциональное изменение результата, связь нелинейная. Аналогично если увеличение исходного действия вызывает увеличение результата, то обратная связь положительная, в противном случае — отрицательная.

В соответствии с условными обозначениями, принятыми в методе системной динамики, потоки и уровни можно представить так, как показано на рис. 2.

Функциональное уравнение уровня с учетом рис. 2 можно записать следующим образом [8]:

$$S(t) = S(t_0) + \int_{t_0}^t (X(t) - Y(t))dt, \quad (1)$$



■ **Рис. 2.** Схема представления потоков и уровня в методе системной динамики (потоко-уровневая модель)

где  $S(t)$  — уровень ресурса в момент времени  $t$  (количество человек или число сообщений), чел. или ед.;  $S(t_0)$  — уровень ресурса в момент времени  $t_0$ , чел. или ед.;  $X(t)$  — темп входящего потока, чел./ед. времени или ед./ед. времени;  $Y(t)$  — темп исходящего потока, чел./ед. времени или ед./ед. времени, или в виде дифференциального уравнения

$$\frac{dS(t)}{dt} = X - Y. \quad (2)$$

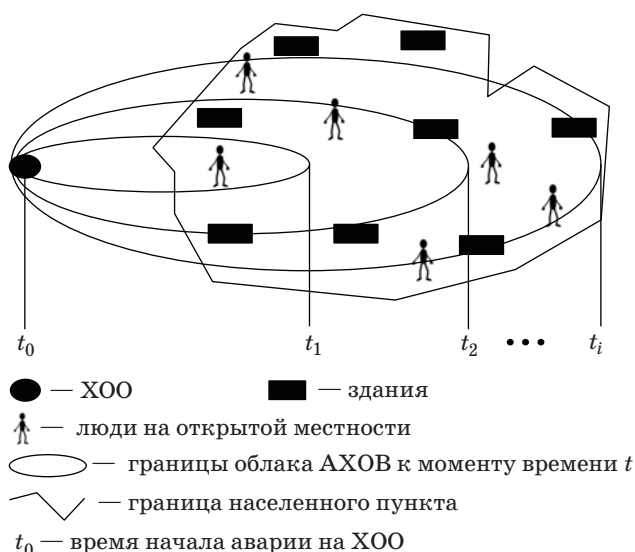
Метод системной динамики включает еще такие понятия, как задержки (предназначенные для имитации задержки потоков и характеризующие средним временем запаздывания), каналы информации (соединяющие функции решений с уровнями), вспомогательные переменные (располагаемые в каналах информации между уровнями и функциями решений, определяющие некоторую функцию и имеющие размерность уровней либо темпов) и др. [7].

### Потоко-уровневая модель информирования населения при аварии на химически опасном объекте

Построение потоко-уровневой модели в рамках метода системной динамики осуществлялось для случая информирования населения (путем рассылки сообщений) при аварии на ХОО, динамика изменений которой условно представлена на рис. 3.

В соответствии со схемой на рис. 3 при построении потоко-уровневой модели приняты следующие исходные положения, предпосылки и допущения:

- при аварии на ХОО происходит пролив на подстилающую поверхность и последующее длительное испарение АХОВ ингаляционного действия с образованием облаков зараженного воздуха;
- с учетом направления ветра облако зараженного воздуха передвигается в сторону населенного пункта с постоянной скоростью;
- количество людей в населенном пункте постоянно, люди находятся как в зданиях, так и на открытой местности;
- концентрация АХОВ в воздухе зоны заражения практически не меняется в рамках времени моделирования и соответствует выводящей из строя дозе ( $ICt_{100}$ ), т. е. количеству вещества ингаляционного действия, вызывающему при попадании в организм выход из строя 100 %



■ Рис. 3. Схема распространения облака АХОВ по территории населенного пункта

пораженных как временно, так и со смертельным исходом [9];

— если к пострадавшему применяются необходимые защитные меры в рамках само- и взаимопомощи, то он считается спасенным, в противном случае наступает летальный исход;

— мероприятия по защите населения, выполняемые силами единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны, не рассматриваются;

— в сообщениях, рассылаемых населению на сотовые телефоны, доводится информация об опасности и мерах по защите от нее.

С учетом этого потоко-уровневая модель действий населения схематично может быть представлена в следующем виде (рис. 4). Смысл показанных некоторых обратных связей (положительных, обозначенных знаком «+», и отрицательных — знаком «-») заключается в следующем:

А — чем больше населения поражено, тем выше темп его гибели;

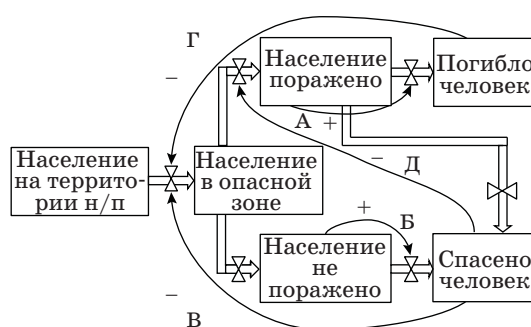
Б — чем больше населения не поражено, тем выше темп его спасения;

В, Г — чем больше населения погибло или спасено, тем меньше темп его попадания в опасную зону;

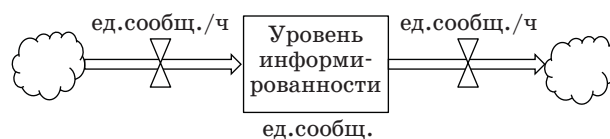
Д — чем больше населения спасено, тем меньше темп его поражения, и др.

На схеме потоко-уровневой модели информирования (рис. 5) «облачка» символизируют внешний, неограниченный в рамках модели, источник ресурса (в гидродинамической аналогии, например, водоем, море и т. п.).

Рассматривая поток из уровня «население на территории н/п» в уровень «население в опасной



■ Рис. 4. Схема потоков и уровней процесса действий населения в зоне заражения АХОВ при аварии на XOO: н/п — населенный пункт



■ Рис. 5. Схема потоков и уровней процесса информирования населения

зоне» (см. рис. 4), следует отметить, что на темп этого потока влияет, прежде всего, скорость распространения зараженного облака по территории населенного пункта и плотность населения. То есть чем быстрее будет распространяться облако и выше плотность населения, тем больше будет соответствующий темп опасности для людей. Данная величина должна иметь ту же размерность, что и регулятор потока для рассматриваемых уровней — человек в час. Для этого вспомогательную переменную «темп опасности», влияющую на регулятор потока из уровня «население на территории н/п» в уровень «население в опасной зоне», можно найти как

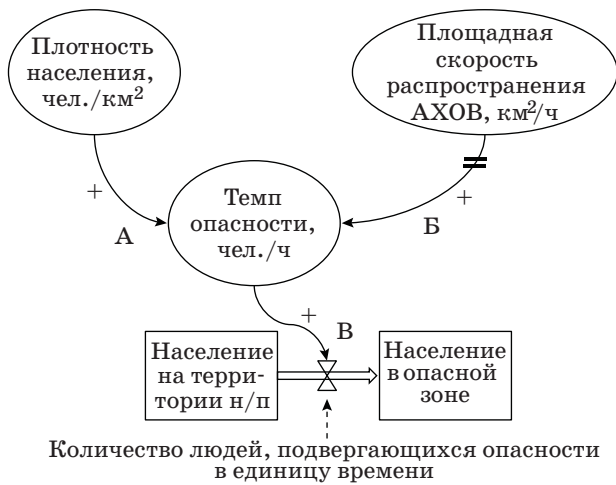
$$\tau_{оп} = \rho_n \cdot v_{АХОВ}, \quad (3)$$

где  $\tau_{оп}$  — темп опасности, чел./ч;  $\rho_n$  — плотность населения, чел./км<sup>2</sup>;  $v_{АХОВ}$  — площадьная скорость распространения АХОВ, км<sup>2</sup>/ч.

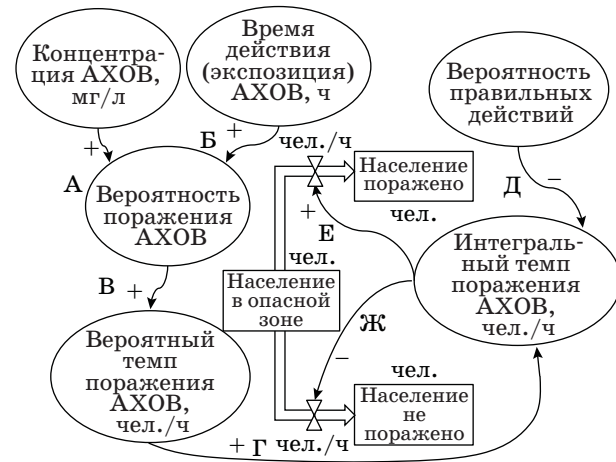
Указанные положения отражены на рис. 6.

Знаком «=» показана учитываемая в модели временная задержка от момента аварии на XOO до прихода облака АХОВ в населенный пункт.

Очевидно, что в соответствии с рис. 4 население в опасной зоне может быть поражено путем токсического воздействия зараженного облака или остаться непораженным. Это будет зависеть как от параметров облака зараженного воздуха (концентрации АХОВ в облаке, времени его действия и т. п.), так и от успешности действий населения по защите от ПФ. С учетом этого взаимосвязь вспомогательных переменных, влияющих на регуляторы темпов потоков из уровня «население в опасной зоне» в уровни «население



■ **Рис. 6.** Схема влияния на регулятор темпа потока из уровня «население на территории н/п» в уровень «население в опасной зоне»



■ **Рис. 7.** Схема влияния на регуляторы темпа потоков из уровня «население в опасной зоне» в уровни «население поражено» и «население не поражено»

поражено» и «население не поражено», показана на рис. 7.

Вероятность поражения АХОВ может быть найдена с учетом пробит-функции, например, следующего вида [10]:

$$P_{пор} = A + B \ln(C_{ppm}^n \cdot t_{эксп}), \quad (4)$$

при этом

$$C_{ppm} = \frac{C \cdot M_{возд}}{1,2M_{вещ}}$$

где  $A, B$  — константы для вычисления пробит-функции общих потерь вследствие воздействия АХОВ;  $C_{ppm}$  — концентрация АХОВ в *parts per million*;  $n$  — показатель степени, характеризующий механизм воздействия и природу АХОВ;

$t_{эксп}$  — время действия (экспозиции) АХОВ, мин (ч);  $C$  — концентрация АХОВ, мг/м<sup>3</sup>;  $M_{возд}$  — молекулярная масса воздуха (принимается равной 29);  $M_{вещ}$  — молекулярная масса вещества.

Вероятный темп поражения АХОВ будет находиться по следующей зависимости:

$$\tau_{вер} = \tau_{оп} \cdot P_{пор}. \quad (5)$$

В свою очередь интегральный темп поражения определяется как

$$T_{пор} = \tau_{вер}(1 - P_{дейст}), \quad (6)$$

где  $T_{пор}$  — интегральный темп поражения населения, чел./ч;  $P_{дейст}$  — вероятность правильных действий населения по защите от ПФ.

Из рис. 7 видно, что вспомогательная переменная «интегральный темп поражения» соединена положительной обратной связью с регулятором темпа потока из уровня «население в опасной зоне» в уровень «население поражено» (чем больше значение переменной, тем выше темп потока) и отрицательной обратной связью с регулятором темпа потока из уровня «население в опасной зоне» в уровень «население не поражено» (чем больше значение переменной, тем ниже темп потока).

Рассматривая вспомогательную переменную «вероятность правильных действий», следует отметить, что на ее величину влияет, прежде всего, уровень информированности населения по характеру опасности и защитным мероприятиям. В этой связи в общую модель процесса действий населения в зоне заражения АХОВ при аварии на ХОО следует включить в качестве элемента потоко-уровневую модель информирования, уровень в которой измеряется в количестве сообщений, а темп потока — в количестве сообщений в единицу времени. Для того чтобы модель процесса действий населения непротиворечиво сочеталась с моделью информирования, необходимо, чтобы все вспомогательные переменные, влияющие на «вероятность безопасных действий», учитывали бы количество сообщений.

При этом очевидно, что как избыточное, так и недостаточное количество сообщений негативно влияет на безопасность действий населения при аварии на ХОО. Так, чрезмерное количество информации для населения, сложной в семантическом плане, уменьшает степень ее понимания. Для учета этого в модели можно использовать следующую ориентировочную зависимость вероятности правильного понимания информации [11]:

$$P_{пон} = e^{-\frac{k}{t_{сооб}}}, \quad (7)$$

где  $P_{пон}$  — вероятность правильного понимания информации;  $k$  — количество сообщений, ед.;  $t_{сооб}$  — среднее время между сообщениями, ч.

Аналогично высокая частота информирования населения также негативно влияет на правильность его действий. Это связано с тем, что при приеме сообщения возникают отвлечения (потери времени) людей на понимание и усвоение информации. В условиях высокой динамики распространения ПФ аварии на ХОО это может послужить причиной возможного дефицита времени на реализацию действий по защите от них. Учет этого положения в первом приближении возможен с применением следующей формулы:

$$P_{\text{отвл}} = k^{-\alpha}, \quad (8)$$

где  $P_{\text{отвл}}$  — вероятность отвлечения на понимание и усвоение информации;  $k$  — количество сообщений, ед.;  $\alpha$  — коэффициент скорости изменения значений вероятности в зависимости от количества сообщений ( $\alpha \leq 1$ ).

В качестве другой вспомогательной переменной, влияющей на «вероятность правильных действий», возможно применение степени (вероятности) усвоения информации. В работах [12, 13] отмечается, что степень усвоения относительно простой информации зависит от количества повторов («повторение — мать учения»). И если для предыдущих двух вспомогательных переменных увеличение количества сообщений негативно влияет на действия населения, то рассматриваемая переменная вносит положительный вклад в «вероятность правильных действий». Значения данной переменной удобно определять по формуле [11]

$$P_{\text{усв}} = \frac{1}{1 + e^{-\frac{k}{t_{\text{сооб}}}}}. \quad (9)$$

И, наконец, человек может правильно понять и усвоить информацию, но не сумеет реализовать свои знания в конкретных условиях обстановки, т. е. не сможет перейти от знаний к умениям, тем более к навыкам. Причиной этого может быть слабая практическая направленность его знаний или необходимость других, более глубоких «пластов» знаний. Например, при получении информации о том, что необходимо смочить ватно-марлевую повязку двухпроцентным раствором соды, возможно возникновение затруднений в понимании, что должна представлять собой данная повязка. В этой связи необходимо принимать во внимание и такую вспомогательную переменную, как «успешность само- и взаимопомощи после информирования»:

$$P_{\text{спас}} = 1 - P_{\text{пор}}. \quad (10)$$

Значения вероятности поражения приведены на рис. 8 [3].

Следует отметить, что представленные зависимости (7)–(10) носят достаточно общий харак-

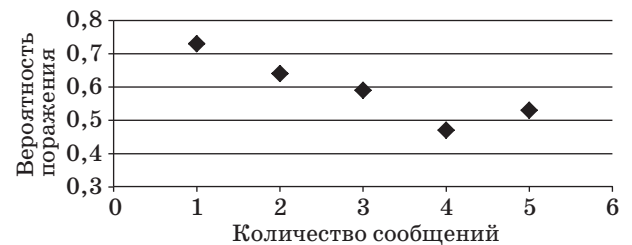
тер и применимы только для простейших сообщений и условного реципиента информации. Это обусловлено, в свою очередь, общим характером потоково-уровневой модели, не содержащей деталей, связанных с содержанием доводимой информации, формой ее представления, конкретным текстом и т. п., а также предварительными задачами настоящего исследования, направленными на выявление тенденций в процессе информирования. В дальнейшем при получении и интерпретировании результатов моделирования возможно уточнение указанных зависимостей.

С учетом обратных связей от рассмотренных вспомогательных переменных (рис. 9) значение вероятности правильных действий может находиться из соотношения

$$P_{\text{дейст}} = P_{\text{пон}} \cdot P_{\text{отвл}} \cdot P_{\text{усв}} \cdot P_{\text{спас}}. \quad (11)$$

Строго говоря, сомножители в (11) — в определенной степени зависимые события, однако на данном этапе, при отсутствии результатов исследований по закономерностям влияния предупреждающей информации на человека, можно использовать формулу произведения вероятностей независимых событий.

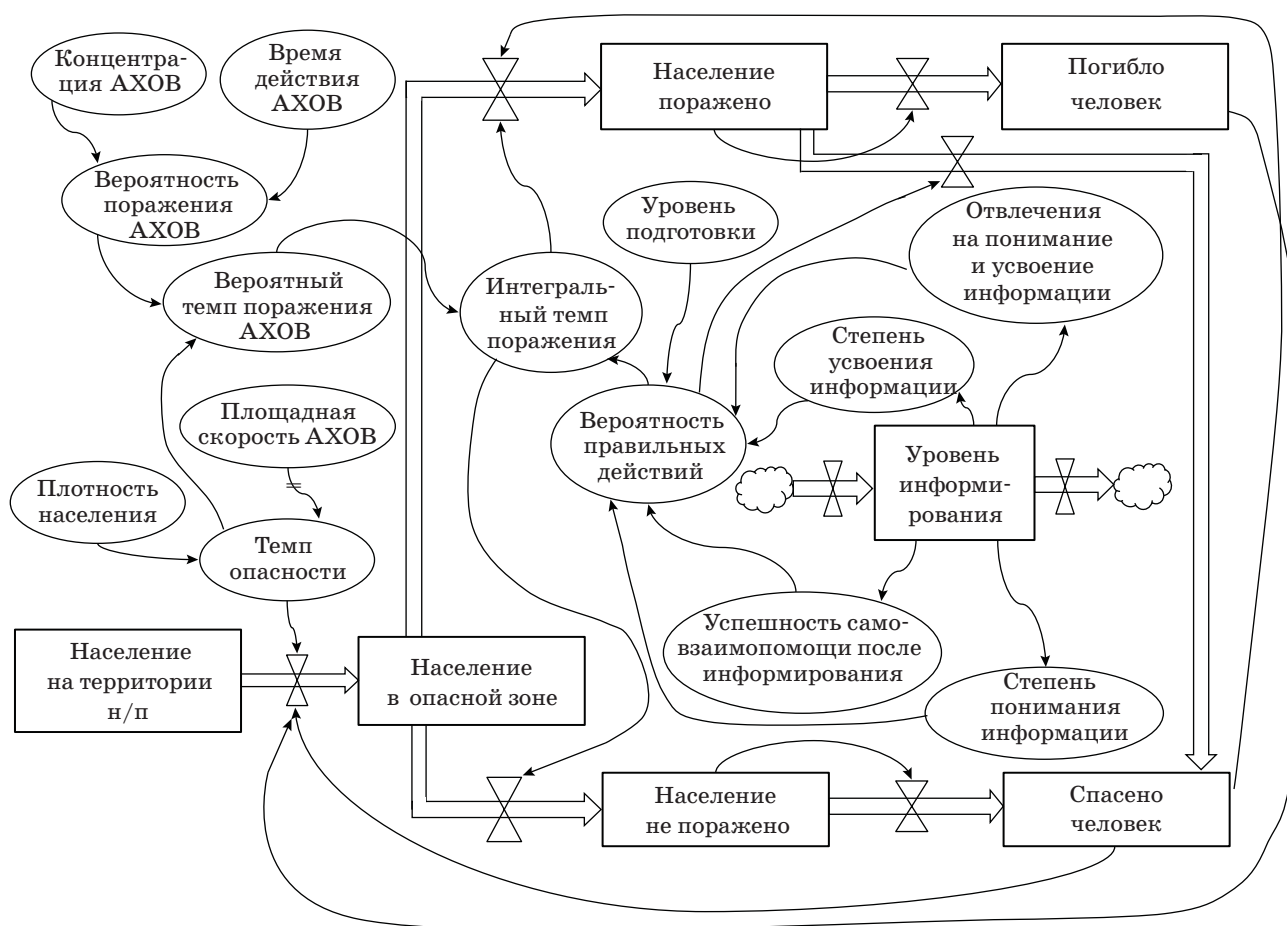
Все указанные выше положения нашли свое отражение на рис. 10, откуда видно, что темп по-



■ Рис. 8. Вероятность поражения в зависимости от количества сообщений



■ Рис. 9. Фрагмент модели процесса действий населения с учетом уровня его информированности



■ Рис. 10. Схема потоко-уровневой модели процесса действий населения в зоне заражения АХОВ при аварии на ХОО с учетом уровня информированности

тока для различных уровней зависит от следующих вспомогательных переменных:

от уровня «население на территории н/п» к уровню «население в опасной зоне» — от «темпа опасности»;

от уровня «население в опасной зоне» к уровням «население поражено» и «население не поражено» — от «интегрального темпа поражения»;

от уровня «население поражено» к уровню «население спасено» — от «вероятности правильных действий».

### Заключение

Таким образом, разработана потоко-уровневая модель процесса действий населения в зоне заражения АХОВ при аварии на ХОО с учетом уровня информированности. Ее применение в программных средах AnyLogic [6, 7] или других [14] позволит определить рациональную частоту рассылки сообщений, реализуемых с помощью различных сервисов сотовой связи; оценить отдельные психофизиологические и психосемантические аспекты «обработки» человеком предупреждающей

информации — закономерности ее понимания, усвоения, реализации последующих действий; определить общий вклад в реализацию правильных защитных мер. Данные результаты будут положены в основу методических рекомендаций по информированию различных категорий населения в условиях ЧС природного, техногенного и биолого-социального характера.

### Литература

1. Дурнев Р. А., Котосонова А. С., Лукьянович А. В. Оповещение населения с использованием текстовых сообщений: анализ состояния вопроса // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2013. № 3. С. 3–6.
2. Дурнев Р. А., Котосонова А. С., Лукьянович А. В. Оповещение населения с использованием текстовых сообщений: методический подход к обоснованию рациональных параметров // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2014. № 4. С. 5–9.
3. Дурнев Р. А., Котосонова А. С., Лукьянович А. В. Оповещение населения с использованием текстовых сооб-

щений: некоторые практические результаты // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2014. № 6. С. 22–25.

4. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятий. — М.: Прогресс, 1971. — 341 с.
5. Путилов В. А., Горохов А. В. Системная динамика регионального развития/ НИЦ «Пазори». — Мурманск, 2002. — 306 с.
6. Маликов Р. Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6: учеб. пособие. — Уфа: БГПУ, 2013. — 296 с.
7. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 403 с.
8. Дурнев Р. А., Мещеряков Е. М. Методические рекомендации по подготовке диссертационных работ. Комиксы для соискателей/под ред. В. А. Акимова. — М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2014. — 328 с.
9. Саноцкий И. В. Методы определения токсичности и опасности химических веществ (токсикометрия). — М.: Медицина, 1970. — 344 с.
10. Pietersen C. M. Consequences of Accidental Releases of Hazardous Material//Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 1990. Vol. 3. N 1. P. 136–141.
11. Информационно-коммуникационные технологии обеспечения безопасности жизнедеятельности/под общ. ред. П. А. Попова. — М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ); ИПП Куна, 2009. — 536 с.
12. Дю Плесси Эрик. Психология рекламного влияния. Как эффективно воздействовать на потребителей: пер. с англ. под ред. Л. Богомоловой. — СПб.: Питер, 2007. — 272 с.
13. Кутляев А. Эффективность рекламы. — М.: Экспо, 2005. — 416 с.
14. Сидоренко В. Н. Системно-динамическое моделирование в среде POWERSIM: справочник по интерфейсу и функциям. — М.: МАКС-ПРЕСС, 2001. — 159 с.

UDC 004.81

doi:10.15217/issn1684-8853.2015.2.67

### System and Dynamic Model of Informing the Population about an Accident at a Chemically Dangerous Object

Durnev R. A.<sup>a</sup>, Dr. Sc., Tech., Associate Professor, Deputy Chief of Institute, rdurnev@rambler.ru

Kotosonova A. S.<sup>a</sup>, Junior Researcher, kot\_alenka@mail.ru

Galiyllina R. L.<sup>a</sup>, Assistant Researcher, galiullinarenata@mail.ru

<sup>a</sup>All-Russian Research Institute on Problems of Civil Defense and Emergency Situations, EMERCOM of Russia, 7, Davydkovskaya St., 121352, Moscow, Russian Federation

**Purpose:** One way of alerting the public about an emergency threat is sending warning SMS messages to cell phones. This method is associated with some difficulties related to identifying the reasonable frequency of warning messages for different categories of population and types of emergencies, and assessing certain psychological aspects of how people process warning information. The goal of this research is to develop a public awareness model which could evaluate the ratio of various psychological aspects of understanding and assimilation of information about the people protection in emergency situations, as well as defining an appropriate frequency of sending such information. To achieve this goal, it is necessary to analyze the results of scientific research in the field of public awareness, to identify the methodological basis for model developing, to substantiate its assumptions and prerequisites, to develop the structure and content of the model and, finally, to establish the analytical relationship between the information dissemination and the results of people's actions. **Results:** A model of population awareness in the case of a chemical accident was developed. Non-linear and inverse relations were found between the number of the warning messages and the effectiveness of people's actions. Therefore, the model is based on the system dynamics method. Under this approach, the population in the emergency area is represented as flows of people passing from one state to another, including such states as "population is in the emergency area", "population is affected", "population is not affected", "population is dead", "population is saved". The rates of the flows depend on the danger propagation speed and the likelihood of an appropriate response by the population. The dangers propagation speed is determined by the speed of the contaminated air cloud, the concentration of the dangerous substance and the time of its impact on the population. The likelihood of an appropriate response depends on adequate understanding of the warning information, the extent of its perception, and the effectiveness of the post-alert protective actions. The process of warning the people under the conditions of a chemical accident is represented as a stream of messages linked to the flow of people through the probability of correct actions. By varying the messages flow rate, we can determine an awareness frequency which would ensure the minimum damage and death of the population. **Practical relevance:** The results of the modeling will underlie the guidelines for warning various population groups in emergency situations of natural, human-made or bio-social nature.

**Keywords** — System Dynamics, Accident, Chemically Dangerous Object, Probability of Damage, Informing Population, Message, Protective Actions.

### References

1. Durnev R. A., Kotosonova A. S., Lukyanovich A. V. Notification of the Population Using Text Messaging: Analysis of the Status of the Issue. *Problemy bezopasnosti i chrezvychainykh situatsii*, 2013, no. 3, pp. 3–6 (In Russian).
2. Durnev R. A., Kotosonova A. S., Lukyanovich A. V. Notification of the Population Using Text Messages: a Methodological Approach to the Justification of Rational Parameters. *Problemy bezopasnosti i chrezvychainykh situatsii*, 2014, no. 4, pp. 5–9 (In Russian).
3. Durnev R. A., Kotosonova A. S., Lukyanovich A. V. Notification of the Population Using Text Messages: Some Practical Results. *Problemy bezopasnosti i chrezvychainykh situatsii*, 2014, no. 6, pp. 22–25 (In Russian).
4. Forrester J. *Osnovy kibernetiki predpriatii* [Fundamentals of Cybernetics Enterprises]. Moscow, Progress Publ., 1971. 341 p. (In Russian).
5. Putilov C. A., Gorokhov A. C. *Sistemnaia dinamika regional'nogo razvitiia* [System Dynamics of Regional De-



- velopment]. Murmansk, NITs "Pazori" Publ., 2002. 306 p. (In Russian).
6. Malikov R. F. *Praktikum po imitatsionnomu modelirovaniu slozhnykh sistem v srede AnyLogic 6* [Workshop on Simulation of Complex Systems in the Environment AnyLogic 6]. Ufa, BGPU Publ., 2013. 296 p. (In Russian).
  7. Karpov Y. *Imitatsionnoe modelirovanie sistem. Vvedenie v modelirovanie s AnyLogic* [Simulation Systems. Introduction to Modeling with AnyLogic]. Saint-Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2005. 403 p. (In Russian).
  8. Durnev R. A., Meshcheryakov E. M. *Metodicheskie rekomendatsii po podgotovke dissertatsionnykh robot. Komiksy dlia soiskatelei* [Guidelines for the preparation of dissertations. Comics for applicants]. Ed. by C. A. Akimov. Moscow, FGBU VNII GOChS (FTs) Publ., 2014. 328 p. (In Russian).
  9. Sanotski I. C. *Metody opredeleniya toksichnosti i opasnosti khimicheskikh veshchestv (toksikometrii)* [Methods for Determining the Toxicity and Hazards of Chemicals (Toxicomania)]. Moscow, Meditsina Publ., 1970. 328 p. (In Russian).
  10. Pietersen C. M. Consequences of Accidental Releases of Hazardous Material. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 1990, vol. 3, no. 1, pp. 136–141.
  11. *Informatsionno-kommunikatsionnye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti* [Information and Communication Technology and Safety. Under the General Editorship]. Ed. by P. A. Popov. Moscow, FGBU VNII GOChS (FTs), IPP Kuna Publ., 2009. 536 p. (In Russian).
  12. Erik du Plessis. *Advertised Mind: Groundbreaking Insights into how Our Brains Respond to Advertising*. Kogan Page Limited, 2005. 226 p.
  13. Cutleries A. *Effektivnost' reklamy* [The Effectiveness of Advertising]. Moscow, Ekspo Publ., 2005. 416 p. (In Russian).
  14. Sidorenko C. N. *Sistemno-dinamicheskoe modelirovanie v srede POWERSIM: spravochnik po interfeisu i funktsiiam* [System-Dynamic Simulation Environment POWERSIM: a Guide to Interface and Features]. Moscow, MAKS-PRESS Publ., 2001. 159 p. (In Russian).

## Уважаемые авторы!

При подготовке рукописей статей необходимо руководствоваться следующими рекомендациями.

Статьи должны содержать изложение новых научных результатов. Название статьи должно быть кратким, но информативным. В названии недопустимо использование сокращений, кроме самых общепринятых (РАН, РФ, САПР и т. п.).

Объем статьи (текст, таблицы, иллюстрации и библиография) не должен превышать эквивалента в 20 страниц, напечатанных на бумаге формата А4 на одной стороне через 1,5 интервала Word шрифтом Times New Roman размером 13, поля не менее двух сантиметров.

Обязательными элементами оформления статьи являются: индекс УДК, заглавие, инициалы и фамилия автора (авторов), ученая степень, звание (при отсутствии — должность), полное название организации, аннотация и ключевые слова на русском и английском языках, электронные адреса авторов, которые по требованию ВАК должны быть опубликованы на страницах журнала. При написании аннотации не используйте аббревиатур и не делайте ссылок на источники в списке литературы.

Статьи авторов, не имеющих ученой степени, рекомендуется публиковать в соавторстве с научным руководителем, наличие подписи научного руководителя на рукописи обязательно, в случае самостоятельной публикации обязательно предоставляйте завершенную по месту работы рекомендацию научного руководителя с указанием его фамилии, имени, отчества, места работы, должности, ученого звания, ученой степени — эта информация будет опубликована в ссылке на первой странице.

**Формулы** набирайте в Word, не используя формульный редактор (Mathtype или Equation), при необходимости можно использовать формульный редактор; для набора одной формулы не используйте два редактора; при наборе формул в формульном редакторе знаки препинания, ограничивающие формулу, набирайте вместе с формулой; для установки размера шрифта никогда не пользуйтесь вкладкой Other..., используйте заводские установки редактора, не подгоняйте размер символов в формулах под размер шрифта в тексте статьи, не растягивайте и не сжимайте мышью формулы, вставленные в текст; в формулах не отделяйте пробелами знаки: + = -.

Для набора формул в Word никогда не используйте Конструктор (на верхней панели: «Работа с формулами» — «Конструктор»), так как этот ресурс предназначен только для внутреннего использования в Word и не поддерживается программами, предназначенными для изготовления оригинал-макета журнала.

При наборе символов в тексте помните, что символы, обозначаемые латинскими буквами, набираются светлым курсивом, русскими и греческими — светлым прямым, векторы и матрицы — прямым полужирным шрифтом.

**Иллюстрации** в текст не завершаются и предоставляются отдельными исходными файлами, поддающимися редактированию:

— рисунки, графики, диаграммы, блок-схемы предоставляйте в виде отдельных исходных файлов, поддающихся редактированию, используя векторные программы: Visio 4, 5, 2002-2003 (\*.vsd); Coreldraw (\*.cdr); Excel (\*.xls); Word (\*.doc); AdobeIllustrator (\*.ai); AutoCad (\*.dxf); Matlab (\*.ps, \*.pdf или экспорт в формат \*.ai);

— если редактор, в котором Вы изготавливаете рисунок, не позволяет сохранить в векторном формате, используйте функцию экспорта (только по отношению к исходному рисунку), например, в формат \*.ai, \*.esp, \*.wmf, \*.emf, \*.svg;

— фото и растровые — в формате \*.tif, \*.png с максимальным разрешением (не менее 300 pixels/inch).

Наличие подрисовочных подписей обязательно (желательно не повторяющих дословно комментарии к рисункам в тексте статьи).

**В редакцию предоставляются:**

— сведения об авторе (фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученое звание, учебное заведение и год его окончания, ученая степень и год защиты диссертации, область научных интересов, количество научных публикаций, домашний и служебный адреса и телефоны, e-mail), фото авторов: анфас, в темной одежде на белом фоне, должны быть видны плечи и грудь, высокая степень четкости изображения без теней и отблесков на лице, фото можно представить в электронном виде в формате \*.tif, \*.png с максимальным разрешением — не менее 300 pixels/inch при минимальном размере фото 40×55 мм;

— экспертное заключение.

**Список литературы** составляется по порядку ссылок в тексте и оформляется следующим образом:

— для книг и сборников — фамилия и инициалы авторов, полное название книги (сборника), город, издательство, год, общее количество страниц;

— для журнальных статей — фамилия и инициалы авторов, полное название статьи, название журнала, год издания, номер журнала, номера страниц;

— ссылки на иностранную литературу следует давать на языке оригинала без сокращений;

— при использовании web-материалов указывайте адрес сайта и дату обращения.

Список литературы оформляйте двумя отдельными блоками по образцам lit.dot на сайте журнала (<http://i-us.ru/paperrules>) по разным стандартам: Литература — СИВИД РФ, References — один из мировых стандартов.

Более подробно правила подготовки текста с образцами изложены на нашем сайте в разделе «Оформление статей».

### Контакты

Куда: 190000, Санкт-Петербург,  
Б. Морская ул., д. 67, ГУАП, РИЦ

Кому: Редакция журнала «Информационно-управляющие системы»

Тел.: (812) 494-70-02

Эл. почта: [i-us.spb@gmail.com](mailto:i-us.spb@gmail.com)

Сайт: [www.i-us.ru](http://www.i-us.ru)