

Хасанова Л.Ф., магистр,

Уфимский государственный авиационный технический университет

Россия, г. Уфа

Щелчкова А.И., магистр,

Уфимский государственный авиационный технический университет

Россия, г. Уфа

Красногорская Н.Н., научный руководитель, профессор, д.т.н.

д.т.н. кафедры «Безопасности производства и промышленной экологии»

Уфимский государственный авиационный технический университет

Россия, г. Уфа

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО ВОПРОСУ НЕОБХОДИМОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ЗЕЛЁНЫХ КРЫШ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Аннотация: В настоящей статье дано понятие зелёных крыш и оценена их роль в решении экологических проблем. Проведен статистический анализ и описание научно-исследовательских работ аспирантов университета Салерно (Италия), работающих под руководством профессора А. Лонгобарди. В качестве наглядного примера выполнен эксперимент с помощью макета зеленой крыши в лабораторных условиях университета Салерно.

Ключевые слова: зелёная крыша, ливневые стоки, поглощающая способность, устойчивое развитие, дренажная система, сточные воды.

Annotation: This article gives the concept of green roofs and assesses their role in solving environmental problems. A statistical analysis and description of the research work of graduate students of the University of Salerno (Italy), working under the guidance of Professor A. Longobardi, has been carried out. As an

illustrative example, an experiment was performed using a green roof layout in the laboratory of the University of Salerno.

Keywords: green roof, storm drains, absorption capacity, sustainable development, drainage system, wastewater.

Зеленая крыша является важной частью устойчивого развития городских дренажных систем. Они состоят из целого ряда методов и способов управления, используемых для отвода ливневых стоков, чем традиционные методы решения. Их роль состоит в том, чтобы уменьшить количество ливневых стоков и восстановить естественный процесс. Также играет определенную роль в повышении качества сточных вод и охраны природы (биоразнообразия), особенно в урбанизированных районах. Он используется для управления воздействия городского острова тепла и снижения потребления энергии в зданиях, уменьшения количества наводнений.

Основная идея внедрения «зеленых крыш» заключается в восстановлении естественного водного баланса в городских районах. Это позволяет избежать проблем, связанных с недостатками непроницаемых поверхностей в сочетании с обычной городской дренажной системой, таких как:

- увеличение количеств наводнений и засух в водотоках и водоемах;
- уменьшение уровня грунтовых вод;
- изменение местного микроклимата.

Рассмотрением данной темы активно занимается Университет Салерно, а именно аспиранты кафедры гражданского строительства под руководством профессора А. Лонгобарди. На рисунке 1 показана динамика публикаций работ по данной теме и количество цитируемости.

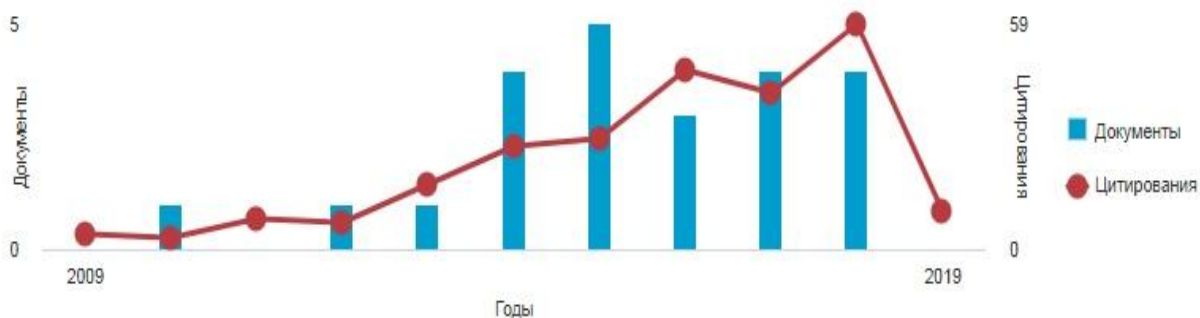


Рисунок 1 - Динамика публикаций статей профессора А. Лонгобарди совместно с другими исследователями и количество цитирования по проблеме управления ливневыми стоками с помощью внедрения зеленых крыш

Как видно из рисунка 1, наибольшее количество работ по данной теме было опубликовано в 2015 году, в то время как максимальное количество цитируемости работ наблюдалось в 2018 году. Тема создания «зеленых» крыш в настоящее время крайне актуальна и набирает популярность как за рубежом, так и в России, поскольку это может существенно улучшить условия проживания и жизнедеятельности людей в городах, способствуя решению экологических и социальных проблем.

Ключевым вопросом исследования [1], выполненного профессором А. Лонгобарди, аспирантами совместно с немецким исследователем Дж. Сартором, является анализ долгосрочного моделирования различных конструкции «зеленых крыш». Выявлено, что наиболее важным фактором в моделировании, является расчет процесса эвапотранспирации. Также сделаны важные практические выводы о том, что зеленая крыша зарекомендовала себя как отличный «фильтр» для очистки ливневого стока, доказала свою ценность дополнительной подачей воды для растительности в период дефицита дождевых осадков, а также удержанием воды во время сильных штормов.

Также профессором А. Лонгобарди совместно с аспирантами были сконструированы два макета зеленой крыши, расположенные в Университете Салерно университетского городка, Южная Италия, и изучена их производительность в средиземноморских регионах, которые характеризуются

длительными периодами засухи, высокими температурами и сильными дождевыми осадками. В данной статье [2] описывается важность измерения содержания влаги слоя подложки, который влияет на производительность зеленых крыш для улучшения прогнозирования гидрологических характеристик, также определяется зависимость глубины проникновения осадков от продолжительности ливневых осадков.

В следующей статье [3] А. Лонгобарди, М. Мобилия и Дж. Сартор были исследованы концептуальные модели, которые имитируют производительность поглощения дождевых осадков зелеными крышами. Проведен сравнительный анализ моделей с экспериментальными данными, с целью выявления наилучшей модели. Наиболее сложная модель является более подробной и требует большего количества входных данных, особенно для того, что касается моделирования процесса эвапотранспирации, но она является важным инструментом, который необходимо применять при моделировании конкретного события, связанного с выпадением дождевых осадков, для защиты от наводнений в городских районах. Если интерес состоит в долгосрочном анализе зеленой крыши, то достаточно применения простой модели. Эта модель является менее сложной и требует меньше входных данных и расчетов, также она способна оценить объем выпавших осадков с высокой точностью в течение длительного периода времени.

Применение «зеленых» крыш в административных и жилых зданиях городских районов имеет большое практическое значение. Преимущества такого конструктивного решения зависят от многих факторов. В работе [4] А. Лонгобарди и М. Мобилией были исследованы гидрологические характеристики двух различных «зелёных» крыш с точки зрения их поглощающей способности. Этот эксперимент был проведён для количественной оценки эффективности применения «зелёных» крыш для района средиземноморья. Две модели «зеленых» крыш были расположены в студенческом городе Салерно, на территории университета. Конструкции двух крыш существенно отличались, как по ёмкости, так и по составу их заполнения.

Дренажный слой первой крыши GR1 состоял из экструдированной глины, её объем составлял 32 л/м^3 , в то время как состав второй крыши GR2 включал в себя дренажный слой из пластиковых панелей, заполненных плотной глиной. Объем второй крыши составлял 14 л/м^3 . По результатам экспериментов было выявлено, что зеленая крыша GR1 в рабочем режиме проявила себя лучше, чем крыша GR2. Определено, что поглощающая способность лучше также для крыши GR1 и её эффективность повышается с увеличением продолжительности выпадения осадков.

Для определения плюсов и минусов эмпирических, и теоретических обоснованных моделей применяются различные гидрологические модели. Целью данного исследования [5] является количественная оценка точности трех сравниваемых гидрологических моделей (SWMM, Hydrus и Nash) при прогнозировании эффективности управления ливневыми стоками с помощью применения зеленых крыш. В этой работе три гидрологические модели были откалиброваны и сопоставлены с данными наблюдений с двух экспериментальных стендов GR1 и GR2. Был оценен индекс эффективности Nash-Sutcliffe (NSE) для количественной оценки точности данной модели. Результаты показывают, что каждый из трех методов может быть эффективно использован для моделирования гидрологического поведения зеленых крыш. Несмотря на то, что модель NSE требует меньше входных данных и различных гидрологических расчетов, она показывает лучшие результаты моделирования.

А. Логобарди, М. Мобилия Дж. Сартор в статье [6] исследовали влияние климатических условий на гидрологическую производительность зеленых городских инфраструктур, с конкретной ссылкой на виртуальные зеленые крыши в г. Трир и г. Салерно. Результаты показывают, что зеленые крыши работают по-разному в определенных климатических условиях. Оба сезонные и долгосрочные моделирования показывают, что гидрологические характеристики виртуальных зеленых крыш являются более эффективными в более высоких широтах, чем в средних. Для Средиземноморского климата, удержание дождевых осадков зелеными крышами может достичь до 57%, а в

Океаническом климате снижение составляет около 90%. Оказалось, что для достижения таких же результатов с минимальной глубиной почвы 15 см в Океаническом климате, необходимо значительно увеличить толщину слоя почвы до 80 см в Средиземноморском климате.

В статье [6; 7] выполнен анализ воздействия зеленой крыши, типичного объекта управления ливневыми стоками, построенного с целью уменьшения объема ливневых стоков, создаваемой традиционными бетонными крышами. Основные результаты показывают, что толщина почвы и поглощающая способность зеленых крыш являются наиболее важными факторами, влияющими на водный режим почв зеленой крыши. При применении зеленых крыш минимальное и максимальное значения сокращения ливневых стоков, соответственно, составило около 40% и 98%.

В лаборатории L1 Университета Салерно был проведен эксперимент с помощью макета зеленой крыши с толщиной слоя почвы 15 см, где в качестве дренажного слоя была использована экструдированная глина. Данный эксперимент заключался в измерении влажности почвы и оценки удерживающей способности макета зеленой крыши.

В процессе эксперимента была определена влажность почвы в 5 конкретных точках (рисунок 2).

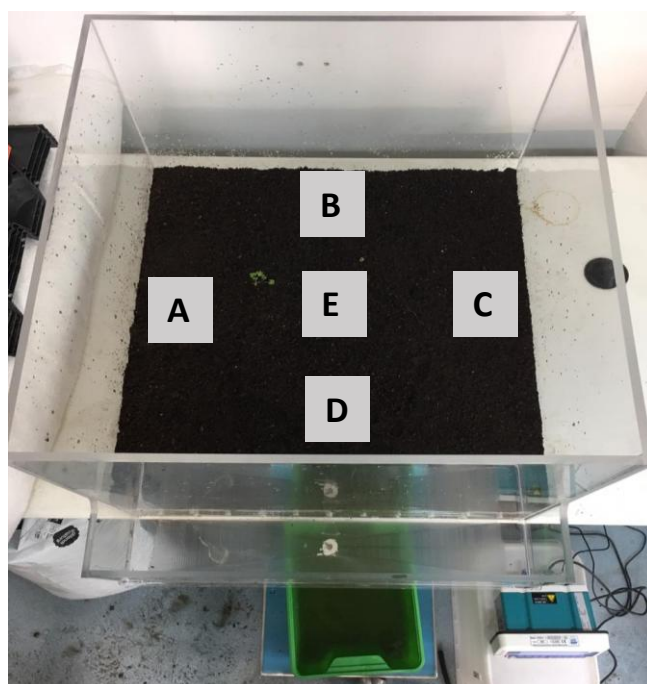


Рисунок 2 - Точки измерения влажности почвы

Измерение влажности проводилось с интервалом времени 5 минут. Результаты измерения представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты измерения влажности почвы макета зеленой крыши

Время	VW _A	VW _B	VW _C	VW _D	VW _E
11:53	45,41	41,21	40,68	38,71	31,23
11:58	56,96	61,68	61,42	52,36	61,55
12:03	62,07	62,86	62,99	58,79	63,52
12:11	60,89	57,87	59,58	56,96	58,92
12:16	58,01	58,40	57,48	56,30	60,37
12:21	62,34	56,82	57,61	55,12	57,61
12:26	61,55	60,50	55,91	51,57	50,92

На основе полученных результатов построен график зависимости влажности почвы от времени проведения эксперимента, представленный на рисунке 3.

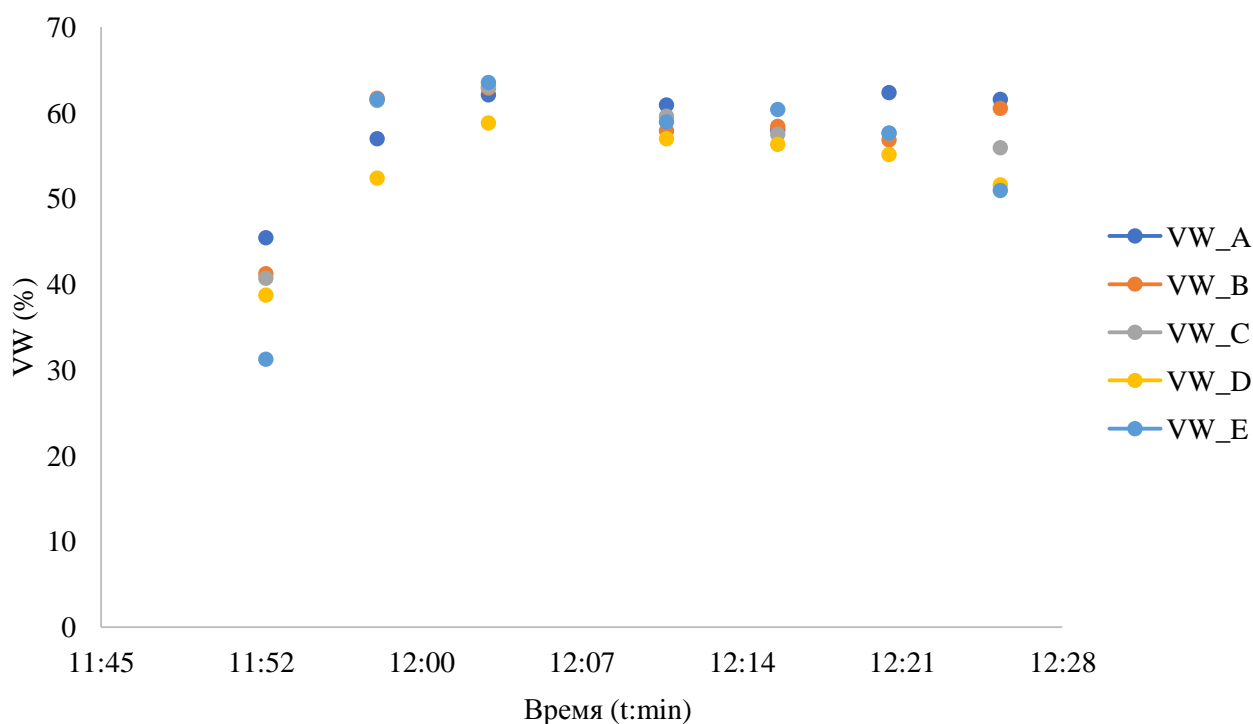


Рисунок 3 - График зависимости влажности почвы от времени проведения эксперимента

Выявлено, что максимальное поглощение воды происходит по истечению первых 5 минут, затем влажность почвы остается примерно постоянной на протяжении всего времени эксперимента.

Также, в процессе эксперимента было принято, что общее количество выпавших осадков составит 40 мм. При этом оценена поглощающая способность дренажной системы выпавших осадков. Результаты поглощающей способности наглядно представлены на рисунке 4.

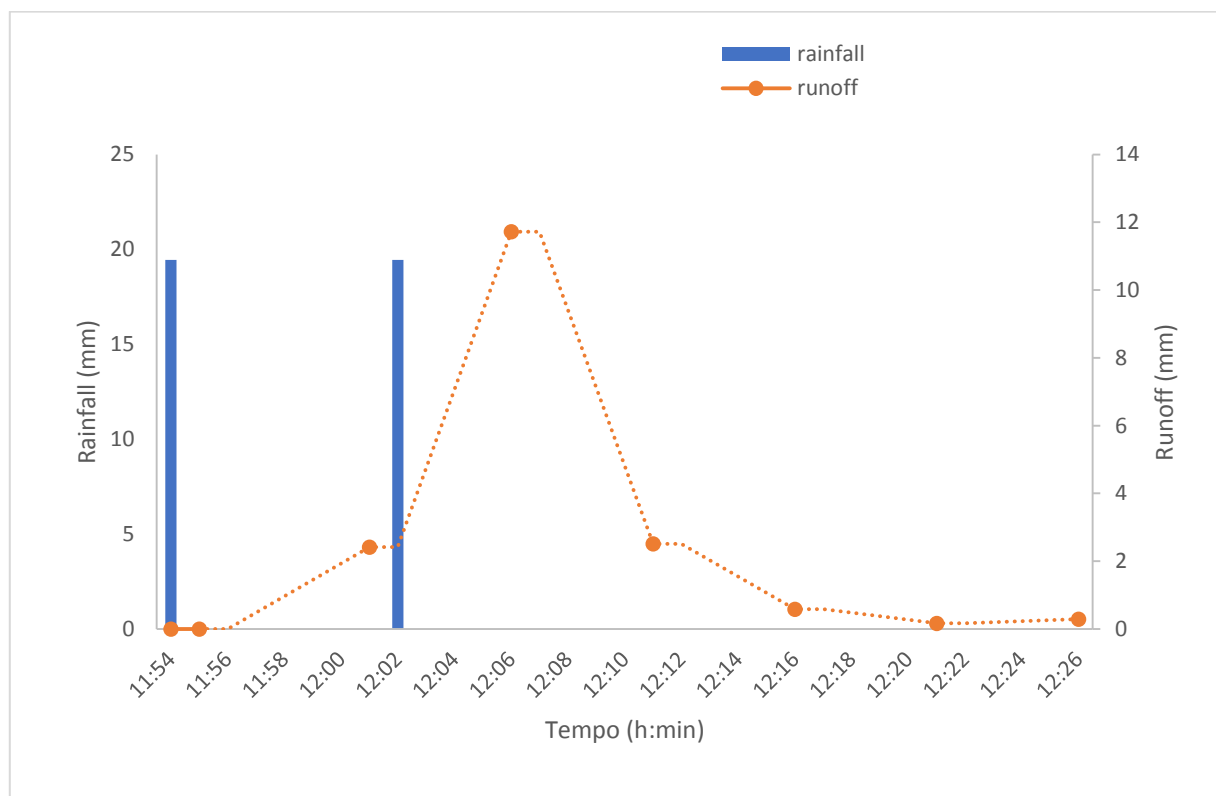


Рисунок 4- поглощающая способность макета зеленой крыши

Выявлено, что предел поглощения ливневых стоков макета зелёной крыши был достигнут в 12:06 спустя 12 минут от начала выпадения осадков. Количество выпущенных сточных вод в это время составило 11,7 мм. Также, определено, что при количестве осадков 40 мм предложенный макет зелёной крыши в общем способен удержать в себе почти 23 мм выпавших осадков. Это говорит о том, что количество выпущенных ливневых сточных вод будет составлять всего лишь 17 мм, вместо начальных 40 мм осадков.

Таким образом, в настоящей статье определено понятие зелёных крыш и оценена их роль в решении экологических проблем. Выявлено, что их роль состоит в том, чтобы уменьшить количество ливневых стоков, восстановить естественный процесс, повысить качество сточных вод, управлять воздействием городского острова тепла, снижать потребление энергии в зданиях и сооружениях, а также уменьшать количества наводнений в городских районах.

Проведен статистический анализ и описание научно-исследовательских работ аспирантов университета Салерно (Италия), работающих под руководством профессора А. Лонгобарди. Приведены динамика публикаций статей профессора А. Лонгобарди совместно с другими исследователями и количество цитирования по проблеме управления ливневыми стоками с помощью внедрения зеленых крыш.

В качестве наглядного примера выполнен эксперимент с помощью макета зеленой крыши в лабораторных условиях университета Салерно. Выявлено, что макет зеленой крыши эффективен в вопросах управления гидрологическими режимами ливневых стоков и внедрение такой конструкции может существенно снизить ряд экологических проблем.

Библиографический список:

1. «Results and findings from 15 years of sustainable urban storm water management» - Joachim Sartor, Mirka Mobilia, Antonia Longobardi.
2. «Climate, soil moisture and drainage layer properties impact on green roofs in a Mediterranean environment» - Mirka Mobilia, Roberta D'Ambrosio, Antonia Longobardi.
3. «How complex has to be a green roof model? » - Mirka Mobilia, Antonia Longobardi, Joachim F. Sartor.
4. «Smart stormwater management in urban areas by roofs greening» - Mirka Mobilia, Antonia Longobardi.

5. «Event scale modelling of experimental green roofs runoff in a Mediterranean environment» - Mirka Mobilia, Antonia Longobardi.

6. «Green roofs hydrological performance under different climate conditions» - Mirka Mobilia, Antonia Longobardi, Joachim Friedrich Sartor.

7. «Impact of green roofs on stormwater runoff coefficients in a mediterranean urban environment» - Mirka Mobilia, Antonia Longobardi, Joachim Friedrich Sartor.