

Моделирование процесса заиления каналов лесосушительных систем

Добрынин Ю.А.¹

Санкт-Петербургская лесотехническая академия

На основе цепей Маркова построена стохастическая феноменологическая модель кумулятивных повреждений каналов лесосушительной сети.

Ключевые слова: заиление каналов, марковский процесс, В-модель, древостой, надежность

Введенные в эксплуатацию лесосушительные системы с течением времени нуждаются в проведении ремонта и ухода за каналами регулирующей, проводящей и оградительной сети для обеспечения нормального водного режима на объекте осушения, при котором создаются условия реализации осушаемым древостоем потенциальных возможностей плодородия лесных почв и, как следствие, устойчивого дополнительного прироста (запаса). В этой связи состояние каналов лесосушительной системы должно быть работоспособным на протяжении всего назначенного срока ее службы (обычно 50-60 лет), что может быть осуществлено механизированными мероприятиями профилактического обслуживания (капитальный, текущий, профилактический, аварийный ремонт и уход за каналами). Чтобы установить соответствующую систему профилактического обслуживания каналов, необходимо исходить из характеристик их заиления (повреждения), определяемых путем экспериментальных исследований в различных типах торфяных залежей, лесорастительных условий, а также гидролесомелиоративных районах. Характеристика заиления является основным параметром, по которому может быть установлен оптимальный режим профилактического обслуживания каналов лесосушительной системы.

Исследованиями состояния каналов на объектах гидролесомелиорации установлено, что наиболее интенсивно происходит их заиление в первые годы после строительства, причем каналы, построенные экскаватором, заиляются в этот рассматриваемый период сильнее, чем построенные фрезерными машинами. Установлено также, что качество строительства в зимнее время значительно хуже качества строительства в летнее время, что непосредственно отражается на интенсивности заиления каналов на ранней стадии их функционирования [1,2,3].

На характеристики заиления каналов оказывают существенное значение его проектные параметры: заложение откосов, ширина по дну и по верху, форма профиля. Завышенное заложение откосов, не соответ-

ствующее почвенно-грунтовым условиям, снижает устойчивость стенок канала и способствует их обрушению, что приводит к активизации процесса заиления, образованию запруд, пробок, нарушающих нормальное течение русловых процессов. В качестве оптимальной формы профиля установлена параболическая [4]. Каналы, построенные в форме трапеции, со временем под действием водного потока приобретают параболическую форму, что также отражается на процессе заиления. Большое значение имеют уклоны канала, реализованные при строительстве. Правильно выдержанные уклоны русла канала формируют скорость водного потока между предельными неразмывающим (неэродирующим) и заиляющим значениями, обеспечивая самоочистку русла за счет транспортирующей способности потока [5].

Весьма характерно для лесосушительных систем наличие погрешностей в технологии строительства каналов, разброс физико-механических свойств почвогрунтов, колебания величин фильтрационного давления. Когда последние достигают предельного напряжения сопротивления, происходит отрыв агрегата грунта, то есть происходят микроповреждения, совокупность которых на площади всего смоченного периметра и вне его способствует развитию процесса заиления канала. Для оценки изменчивости прочностных и деформационных свойств различных грунтов, в которых проложены лесосушительные каналы, требуются специальные исследования.

Заметное влияние на заиление каналов оказывает шероховатость, возникающая из-за роста растительности - водной, травяной, кустарниковой, попадания лесного опада. Имеют значение также экстремальные подъемы уровня воды в каналах в период паводка или неудовлетворительной работы водоприемника, морозные пучения в каналах, антропогенные факторы.

Поскольку лесосушительные системы рассчитаны на длительный срок функционирования (более 50 лет) [3], отмеченные выше факторы при совокупном действии образуют систематические, условно годовые, циклы нагружения (ЦН) на русло каналов, в результате которых происходит постепенное отложение наилка в донной части с направленным (кумулятивным) его накоплением.

В связи со случайной природой отмеченных факторов, образующих эволюцию процесса заиления каналов, можно утверждать, что сам процесс заиления является случайным и для его описания необходимо использовать вероятностные модели. Такими моделями могут быть стохастические феноменологические модели кумулятивного повреждения (КП) [8], основывающиеся на понимании изучаемого процесса на макроскопическом уровне и экспериментальных данных. Такой подход особенно рационален применительно к каналам лесосушительных систем, поскольку в силу множества отмеченных выше случайных факторов, образующих в совокупности процесс заиления, а также полевых условий проводимых исследований практически нерационально, а в отдельных случаях и не-

¹ Автор - профессор, зав.кафедрой теоретической механики

возможно достаточно достоверно учесть поведение процесса, основываясь на моделях, построенных на фундаментальных физических законах.

Построение стохастической феноменологической модели КП каналов лесосушительной сети основывается на использовании цепей Маркова, вложенных в изучаемый физический процесс. Кумулятивное повреждение определим как необратимое заилиение каналов, приводящее к постепенному снижению надежности их функционирования с достижением предельного состояния, соответствующего отказу. По предельным состояниям каналов лесосушительной сети имеются предписанные нормативные значения их глубины, по которым назначаются соответствующие профилактические работы: капитальный, текущий, профилактический ремонт [1,2,3]. Эти предельные состояния установлены в процессе проводившегося многолетнего мониторинга гидроресомелиоративных стационаров, заложенных в различных гидроресомелиоративных районах, а также по данным производственных объектов осушения, где ведется мелиоративный кадастр [2,3,4,6,7].

В результате полученных характеристик заилиения (выборочных функций) каналов во времени может быть образован ансамбль для конкретных лесорастительных условий, а эта информация является необходимой для построения вероятностной феноменологической модели КП, которая в свою очередь служит основой для оценки надежности состояния каналов. Такой ансамбль, реализации которого развертываются во времени вероятностным образом, составляет случайный процесс. Отметим также, что в начальный период функционирования каналов после их строительства не все каналы имеют одинаковую глубину в связи с техническими возможностями машин и реальных условий их работы. У рассматриваемых каналов будет проявляться различная интенсивность нарастания КП и в этой связи различное время достижения предельных состояний, определяющих вид ремонта. Чтобы описать вероятностную эволюцию накопления наилка в каналах, необходимо определить количественные показатели поведения выборочной функции (ВФ) и по ним установить вероятностную модель КП каналов.

Представим, что процесс накопления повреждения происходит ступенчато со скачками в момент проведения измерений. Это не совсем адекватно процессу образования траектории заилиения канала, но позволяет использовать для описания этого явления дискретную модель (дискретное время и конечное число состояний).

Разобьем весь процесс формирования ВФ на дискретные состояния: $S_1, S_2, \dots, S_j, \dots, S_b$ (рис.). Пусть при $t=0$ начальное значение глубины каналов осушительной сети находится в состоянии S , характеризующемся разбросом относительно проектного значения глубины, что может быть отражено математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением.

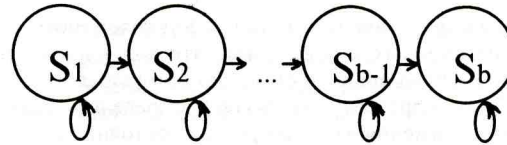


Рис. Граф состояний процесса кумулятивного повреждения каналов

Повреждение находится в состоянии S_1 до момента, когда сила удара в соответствии с моделью удара [8] не превышает критического уровня. На практике эта абстракция означает, что все циклические воздействия в проходящих русловых процессах, приводящие к постепенному накоплению наилка (повреждения канала), сводятся к импульсным (мгновенным) периодическим воздействиям. Если значение ударного импульса превосходит критический уровень, то повреждение переходит в состояние S_2 , а это состояние фиксируется в период проведения очередного измерения глубины канала (толщины наилка). Аналогично в состоянии S_2 повреждение находится до тех пор, пока удар не превысит этот критический уровень, а после его превышения скачком переходит в состояние S_3 , которое также фиксируется непосредственным измерением, и так далее до тех пор, когда достигнет состояния S_b , соответствующего предельному состоянию осушительного канала, то есть его отказу.

В период между состояниями S_1, S_2, \dots, S_b происходит накопление наилка (повреждения) в канале в результате действия циклов нагружения (ЦН) на его русло, причем интенсивность ЦН статистически подобна и может быть принята приближенно постоянной. Это означает: то, что происходит с руслом канала в одном ЦН, происходит аналогично в любом другом ЦН. При этом имеется в виду, что повреждение канала рассматривается систематически в одно и то же время с назначенным интервалом времени в зависимости от особенностей конкретных лесорастительных условий, что будет соответствовать условному началу и концу циклов нагружения.

Свойство марковости здесь проявляется следующим образом: накопление повреждений в ЦН зависит только от ЦН и состояния повреждения в его начале и совершенно несущественно, как достигнут начальный уровень накопления наилка (повреждения). Повреждение канала, отмечаемое состоянием S_j на момент начала очередных ЦН, может только увеличиваться и перейти в состояние с номером на единицу большим - S_{j+1} и никогда не возвращается в предыдущее состояние.

Таким образом, подразумевается, что имеется модель, в которой все состояния переходные, кроме последнего, поглощающего (В-модель). Следует также отметить, что В-модель ничего не говорит о количественных изменениях среди происходящих процессов внутри каждого ЦН, т.е. рассматриваются взаимодействия с позиций физических законов. Такая модель кумулятивного повреждения мелиоративного канала соответствует стационарному марковскому процессу с дискретным временем и состоянием, вложенному в непрерывный физический процесс накопления КП с

единичными скачками. Она представляет собой матрицу переходных вероятностей, что в совокупности с вектором начальных состояний, который всегда может быть определен, позволяет определять вероятность достижения задаваемого по состояниям уровня заиления канала и в дальнейшем установить функцию надежности его функционирования. Так, для экспериментальных данных, представленных в таблице по измерениям глубины каналов осушительной сети одного из объектов гидроресомелиорации, расположенного в Северо-Западном гидромелиоративном районе построена В-модель с параметрами

$$r_j = \begin{cases} 4.579; \\ 1.970; \\ 0.396; \end{cases} \quad j = \begin{cases} 1,2; \\ 4; \\ 6,7,8,9; \end{cases} \quad \begin{matrix} b_1=3; \\ b_2=5; \\ b=10, \end{matrix} \quad (1)$$

где

$$r_j = P_j / q_j;$$

P_j - вероятность того, что сила удара ниже критического уровня и повреждение находится в прежнем состоянии;

q_j - вероятность того, что сила удара выше критического уровня и повреждение переходит в новое состояние (реализация последовательности независимых испытаний, где q_j - вероятность "успеха" в одном испытании);

b_1, b_2 - переходные состояния процесса;

b - поглощающее состояние процесса, соответствующее отказу в работе каналов.

В результате подстановки значений параметров В-модели (1) в зависимости для определения среднего времени и дисперсии [8] при достижении процесса заиления конкретных значений глубины каналов осушителей, получим аппроксимированные данные, которые также представлены в таблице.

Таблица

| Глубина каналов, см | Среднее значение времени, лет | | Среднеквадратическое отклонение времени, лет | |
|---------------------|-------------------------------|-------------|--|-------------|
| | по экспериментальным данным | по В-модели | по экспериментальным данным | по В-модели |
| 70 | 10.7 | 11.15 | 1.37 | 1.47 |
| 60 | 16.9 | 17.1 | 2.02 | 2.58 |
| 50* | 24.2 | 24.1 | 5.83 | 7.06 |

*Значение глубины канала, соответствующей его отказу в работе (состояние b).

Сравнивая экспериментальные данные с данными В-модели, можно отметить удовлетворительное их сходжение. Матрица переходных вероятностей P_x , которая вместе с вектором-строкой P_0 начальных вероятностей состояний каналов определяет вероятностную эволюцию процесса заиления русла осушительных каналов и, следовательно, их надежности, имеет вид

$$P_x = P_0 P^x, \quad x = 0, 1, 2 \dots \quad (2)$$

$$P_0 = \{ \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{b-1}, 0 \}.$$

В первом приближении в матрице (2) можно принять $\pi_1=1$, а в дальнейшем учесть вероятности начальных состояний вектора-строки P_0 , что характерно для

каналов лесосушительных систем, построенных в зимний период.

При известной В-модели процесса заиления каналов осушителей в дальнейшем может быть составлена и оптимизирована модель их профилактического обслуживания с применением различной мелиоративной техники.

Систематизация В-моделей процессов заиления мелиоративных каналов для различных гидроресомелиоративных районов позволит дополнить нормативные документы на проведение работ по технической эксплуатации лесосушительных систем данными о надежности технического состояния каналов, по которым может проводиться прогнозная оценка их надежности и устанавливаться время назначения соответствующих работ по профилактическому обслуживанию каналов. Это позволит обеспечить работоспособность мелиоративных каналов и устойчивый дополнительный прирост осушаемого древостоя на объектах гидроресомелиорации, возможный по производительности лесных почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основные положения по гидроресомелиорации. С-Пб.: СПбНИИЛХ, 1995. 58с.
2. Константинов В.К., Великанов Г.Б., Добрынин Ю.А. Реконструкция и эксплуатация лесосушительных систем. С-Пб.: СПбНИИЛХ, 1995. 112 с.
3. Справочник гидроресомелиоратора / Сабо Е.Д., Иванов Ю.Н., Шатилло Д.А. / Под ред. Сабо Е.Д. М.: Лесн. пром-ть, 1981. 200 с.
4. Писарьков Х.А. Влияние основных факторов на интенсивность осушения лесных земель // Науч.тр. ЛТА. Л., 1970. N142. С. 9-27.
5. Сабо Е.Д. Обоснование самоочищения мелиоративных каналов // Гидроресомелиорация северо-востока ЕТС: Информ. материалы к совещ. 4-7 сент. 1990 г. Горький, 1990. С. 93-95.
6. Артемьев А.И., Тараканов А.М. Ведение хозяйства в осушенных лесах Архангельской области // Ведение хозяйства на осушенных землях: Сб. науч. тр. / ЛенНИИЛХ. Л., 1986. С. 9-19.
7. Тимофеев А.Ф. Повреждение осушительных канав и меры борьбы с ним / ЛТА. Л., 1963. 101 с.
8. Богданов Дж., Козин Ф. Вероятностные модели накопления повреждений: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 344 с.