

Имитационное моделирование процесса обслуживания плотов, поступающих в пункт приплава

С. В. Посыпанов¹

Архангельский государственный технический университет

Исследования на имитационной модели процесса обслуживания плотов в условиях Архангельского порта показали, что по ряду показателей она предпочтительнее используемых в настоящее время методов теории массового обслуживания.

Ключевые слова: имитационная модель, плот.

Задачи, связанные с поступлением плотов в пункт приплава, решают зачастую с использованием методов теории массового обслуживания [2]. Однако, если характеристики статистического ряда временных интервалов поступления плотов и закон распределения этих интервалов, как правило, установить не сложно (по данным диспетчерской службы), то по продолжительности обслуживания плотов соответствующую информацию можно получить не всегда. В первую очередь, это утверждение относится к вновь проектируемым технологическим процессам, к случаям внедрения новой техники. При этом, решая упомянутые задачи, делают порой необоснованные допущения, принимая какой-либо закон распределения продолжительностей обслуживания и численные значения характеристик этого процесса. Подобные решения не могут быть признаны корректными.

Выйти из положения в таких случаях позволяет имитационное моделирование. Прибегнув к нему, можно не только избавиться от некорректных допущений, но и получить возможность довольно оперативно ответить на широкий спектр вопросов.

Блок-схема разработанной нами имитационной модели процесса обслуживания плотов, поступающих в пункт приплава, представлена на рис. 1. Перед ее рассмотрением отметим, что в данном случае под обслуживанием плотов понимается их встреча, торможение и постановка на плотостоянку. Модель ориентирована на вариант обслуживания плотов в условиях Архангельского порта бригадами (звеньями), каждая из которых укомплектована буксирным теплоходом и агрегатом ЦЛС-133.

В процессе создания модели были обработаны данные раннего (наиболее напряженного) периода навигации по временным интервалам поступления плотов в Архангельский порт и по распределению этих плотов по плотостоянкам. Установлено, что поток поступающих плотов с точки зрения теории массового обслуживания является простейшим, функция рас-

пределения, определяющая вероятность того, что значение интервала времени между поступлениями двух плотов будет меньше t , имеет вид

$$P_t = 1 - e^{-mt}, \quad (1)$$

где e - основание натурального логарифма;
 m - интенсивность поступления плотов.

В рассматриваемом случае $m=0,126$ 1/ч.

Плоты в указанный период принимали на семь плотостоянок. На первую плотостоянку было принято 30% плотов, на вторую - 23%, на третью - 17%, на четвертую - 13%, на пятую - 10%, на шестую - 4% и на седьмую - 3%.

Указанные данные, так же, как и расстояния от створа регистрации плотов до каждой i плотостоянки $S(i)$, внесены в программу.

Модель может быть переориентирована на другой вариант в результате замены в программе упомянутых выше данных, возможно внесение изменений и через блок задания параметров процесса (рис. 1) - первый блок модели.

В первом блоке предусмотрен обязательный ввод таких данных, как предполагаемое количество плотов k_m , бригад j_m ; скорость течения V_r ; скорости буксировки плотов V и агрегатов V_s , при отсутствии течения; продолжительности выполнения швартовки агрегата к плоту и закрепления на нем волокуш T_m , активного торможения плота T_r , передачи плота на причал T_p , подготовки агрегата (бригады) к следующему рейсу $T_{под}$. Отметим, что скорости буксировки агрегатов соответствуют скоростям передвижения бригад.

Во втором блоке модели выполняются простейшие подготовительные расчеты, в ходе которых вычисляются параметры, не меняющиеся в следующих блоках (до нового запуска программы). В указанном блоке по приведенным ниже выражениям определяются значения технической скорости буксировки плотов

$$V_t = V + V_r, \quad (2)$$

скорости движения бригад по течению

$$V_{bn} = V_s + V_r, \quad (3)$$

скорости движения бригад против течения

$$V_b = V_s - V_r, \quad (4)$$

минимального расстояния от пункта остановки плота до места его встречи

$$S_w = (T_m + T_r)V_t, \quad (5)$$

¹ Автор - доцент

составляющей времени обслуживания плота, которая до ввода новых данных остается неизменной,

$$T_c = T_{ш} + T_r + T_p + T_{под}. \quad (6)$$

В третьем и четвертом блоках модели генерируются случайные величины: номера плотостоянок i , на которые направляются плоты и временные интервалы поступления плотов t .

Генерирование номера плотостоянки i , на которую должен быть поставлен прибывший k плот, осуществляется следующим образом. С помощью специального оператора программы получается случайная величина P , равномерно распределенная на отрезке $[0, 1]$. Отрезок $[0, 1]$ разбит на семь пронумерованных частей, номер части соответствует номеру плотостоянки. Доля каждой части в длине отрезка $[0, 1]$ равна доле плотов, поступающих на соответствующую плотостоянку (см. фактическое распределение плотов по плотостоянкам). Полученная случайная величина P принадлежит одной из частей отрезка $[0, 1]$. По номеру этой части и назначается номер плотостоянки, на которую направляется прибывший плот.

Генерирование интервалов поступления плотов t осуществляется в соответствии с установленной функцией распределения (1). При этом используется метод обратных функций [1]. Функция обратная для функции (1) имеет вид

$$t = -\ln(1 - P_t) / m. \quad (7)$$

Согласно указанному методу, как и в предыдущем случае, с помощью специального оператора генерируется случайное число P_t , равномерно распределенное на отрезке $[0, 1]$. По этому числу с помощью выражения (7) рассчитывается интервал времени t , через который в пункт приплава (в створ регистрации) поступает очередной плот.

Далее определяется время подхода k плота к створу регистрации

$$T_{(k)} = T_{(k-1)} + t, \quad (8)$$

где $T_{(k-1)}$ - время регистрации предыдущего плота.

Отсчет времени в модели предусмотрен с момента регистрации первого плота (возможен переход на текущее время).

Рассчитывается время подхода плота к месту, не ниже которого его должна встретить обслуживающая бригада (для того чтобы успеть подготовиться к торжественному и выполнить его),

$$T_{p(k)} = T_{(k)} + (S(i) - S_w) / V_r. \quad (9)$$

(Далее по тексту упомянутое место будем называть расчетным местом встречи.)

После этого в следующем блоке модели начинается анализ состояния системы, осуществляемый с целью выбора бригады для обслуживания прибывшего плота. Бригады идентифицируются по номеру j . Упомянутый анализ выполняется последовательно по каждой бригаде (агрегату). Сначала устанавливается номер плотостоянки N_j , на которую до этого бригада была отправлена для постановки плота. Информация об этом хранится в специально отведенном массиве и извлекается из него соответствующим оператором программы. Первоначально все бригады находятся у первой плотостоянки.

Далее определяется расстояние от места нахождения бригады до расчетного места встречи

$$S_{p(j)} = S(N_j) - S(i) + S_w. \quad (10)$$

Если плотостоянка, на которую ранее была отправлена бригада, находится выше по потоку расчетного места встречи, то величина $S_{p(j)}$ будет отрицательной. При выполнении этого условия проверяется, успеет ли данная бригада закончить обслуживание ранее поступившего плота и подготовиться к встрече следующего до времени его прохождения мимо места нахождения бригады. Упомянутая проверка осуществляется с использованием неравенства

$$T_{g(j)} < T_{(k)} + S(N_j) / V_r, \quad (11)$$

где $T_{g(j)}$ - время готовности j бригады к обслуживанию следующего плота, первоначально приравнивается ко времени регистрации первого плота.

Если выражение (11) оказывается истинным, то переменной J_1 , идентифицирующей номер бригады, которая будет обслуживать поступивший плот, присваивается значение номера данной бригады. Если при анализе системы устанавливается, что обслужить поступивший плот имеют возможность несколько бригад, то приоритет отдается таким, как описанная выше, то есть имеющим возможность без дополнительных затрат энергии на перемещение вдоль потока пришвартоваться к проходящему мимо плоту и обслужить его. Если таких бригад оказывается более одной, то выбор останавливается на той, которая находится ниже по потоку. При этом минимизируются затраты энергии на перемещение бригад (с техникой) вдоль потока.

Если неравенство (11) оказывается ложным или $S_{p(j)}$ принимает неотрицательное значение, то проверяется, успеет ли данная бригада закончить обслуживание предыдущего плота, подготовиться и подойти к расчетному месту встречи вновь поступившего плота к времени его прибытия в указанное место. Для бригад, располагающихся до этого выше по потоку расчетного места встречи (то есть при $S_{p(j)} < 0$), эта проверка осуществляется с помощью неравенства

$$T_{p(k)} \geq T_{g(j)} - S_{p(j)} / V_{bn}, \quad (12)$$

при неотрицательном $S_{p(j)}$ используется неравенство

$$T_{p(k)} \geq T_{g(j)} + S_{p(j)} / V_b. \quad (13)$$

Если условия, определяемые неравенствами (12), (13), не выполняются, то данная бригада не успеет остановить прибывший плот.

При отсутствии бригад, для которых (при $S_{p(j)} < 0$) выполнялось бы условие (11), и наличии нескольких, имеющих возможность встретить поступивший плот по условиям (12), (13), предпочтение отдается той, которая сможет дойти до расчетного места встречи, двигаясь снизу, или догнать плот не ниже указанного места, двигаясь сверху, за наименьшее время при перемещении с расчетными скоростями. Упомянутые виды движения назовем активными (до швартовки к плоту), соответствующее время - временем активного движения. Для бригад, догоняющих плот сверху, время активного движения определяется из выражения

$$T_{b(j)} = V_\tau (T_{g(j)} - T_{(k)} - S(N_j) / V_\tau) / (V_{bn} - V_\tau), \quad (14)$$

для выходящих на встречу снизу

$$T_{b(j)} = S_{p(j)} / V_b. \quad (15)$$

(Заметим, что для бригад, удовлетворяющих условию (11), $T_{b(j)}$ принимается равным нулю.)

Приведенные выше уравнения и неравенства скомбинированы в блоке с использованием операторов условного и безусловного перехода так, что при последовательном рассмотрении всех бригад переменная J_1 меняет свое значение на номер рассматриваемой бригады лишь в том случае, если данный вариант лучше предыдущих. Таким образом, после анализа всей системы выбор останавливается на наиболее предпочтительном варианте, и соответствующее значение J_1 передается в следующий блок модели. В следующий блок модели передаются также соответствующие выбранному варианту значения $T_{b(j)}$, $T_{o(j)}$ и $T_{ws(j)}$ ($j=J_1$). Здесь $T_{o(j)}$ - время отправления бригады на обслуживание поступающего плота, $T_{ws(j)}$ - время движения бригады от места нахождения до расчетного места встречи. Для бригад, выходящих на встречу плота снизу,

$$T_{ws(j)} = T_{b(j)}, \quad (16)$$

для тех, кто швартуется к проходящему плоту,

$$T_{ws(j)} = -S_{p(j)} / V_\tau, \quad (17)$$

для обоих упомянутых вариантов

$$T_{o(j)} = T_{p(k)} - T_{ws(j)}, \quad (18)$$

для догоняющих плот сверху

$$T_{ws(j)} = T_{p(k)} - T_{g(j)}, \quad (19)$$

$$T_{o(j)} = T_{g(j)}. \quad (20)$$

Если ни одна бригада не успевает встретить прибывающий плот, то в следующий блок модели передается значение $J_1 = 0$. При этом условии значение счетчика пропущенных плотов увеличивается на единицу, и осуществляется переход к третьему блоку модели, то есть начинается рассмотрение поступления следующего плота. При J_1 , отличном от нуля, в шестом блоке определяется время использования бригады с номером $j = J_1$ на обслуживании k плота

$$T_{и(j)} = T_c + T_{ws(j)}, \quad (21)$$

рассчитывается суммарное время активного движения бригад путем прибавления к предыдущей величине этого показателя значения $T_{b(j)}$, переданного из пятого блока. Далее в ряде массивов обновляется содержание ячеек с номером J_1 . К суммарному времени использования выбранной бригады прибавляется величина $T_{и(j)}$, к количеству плотов, остановленных ею, добавляется еще один. Время готовности бригады к следующему рейсу определяется из выражения

$$T_{g(j)} = T_{o(j)} + T_{и(j)} \quad (22)$$

и записывается в соответствующую ячейку. До прибытия первого плота значения, записанные в упомянутых ячейках, равны нулю.

В массив, хранящий информацию о месте нахождения бригад, записывается номер плотостоянки, на которую отправляется данная бригада с обслуживаемым плотом. По другим бригадам информация в упомянутых массивах обновляется далее лишь при использовании этих бригад.

После шестого блока осуществляется переход к третьему, имитируется поступление следующего плота и описанные действия повторяются до тех пор, пока через систему не будет пропущено заданное количество плотов.

Последний блок предназначен для окончательной подготовки и вывода информации, необходимой для анализа работы системы. Часть выводимой информации формируется на предыдущих этапах и не нуждается в преобразовании. К ней относятся такие упомянутые выше показатели, как общее количество пропущенных плотов, суммарное время активного движения бригад, суммарное время использования каждой бригады и общее количество плотов, остановленных ею (а также исходные данные). Для большей информативности в рассматриваемом блоке определяется (с последующим выводом) еще ряд показателей. К ним относятся: общая продолжительность процесса, определяемая вычитанием из времени готовности к следующему рейсу бригады, обслужившей последний плот, времени регистрации первого плота; суммарное время простоя каждой бригады, вычис-

ляемое вычитанием суммарного времени ее использования из общей продолжительности процесса; среднее время обслуживания одного плота, получаемое делением суммарного времени использования всех бригад на общее количество остановленных плотов; интенсивность обслуживания плотов - величина обратная предыдущей. Большинство показателей выводится не только в абсолютном, но и в процентном выражении.

Исследования на модели показали, что в данных условиях среднее время обслуживания одного плота, а следовательно, и интенсивность обслуживания отличаются от соответствующих показателей, полученных при расчетах методом теории массового обслуживания с необоснованными допущениями, примерно на треть, что подтверждает некорректность этих допущений. Потребность в бригадах при условии обслуживания всех плотов равна 3. При этом использоваться по времени они будут лишь на 9..16%. Это объясняется тем, что плоты поступают очень неравномерно, система без очередей, плотостоянки размещены на участке большой протяженности (27,5 км). Даже в случаях использования двух или одной бригады при пропуске (необслуживании) соответственно 6 или 29% плотов, по времени две бригады будут использоваться на 16..20%, одна - на 29%. При такой нагрузке в наиболее напряженный период внедрение техники, которая может быть использована только для остановки плотов, требует очень серьезного обоснования.

Разработанная модель может быть использована не только для определения потребности в бригадах, их загрузки и других упомянутых показателей, но и для оптимизации рассматриваемого вида работ (подбор оптимальной техники, состава бригад, организации работ и т. д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пижурин А. А., Розенблит М. С. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки: Учебник для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 296 с.
2. Чекалкин К. А., Мельников Л. В. Гидродинамические основы проектирования агрегатов для остановки плотов: Учебное пособие. Л.: Изд-во ЛТА, 1987. 64 с.

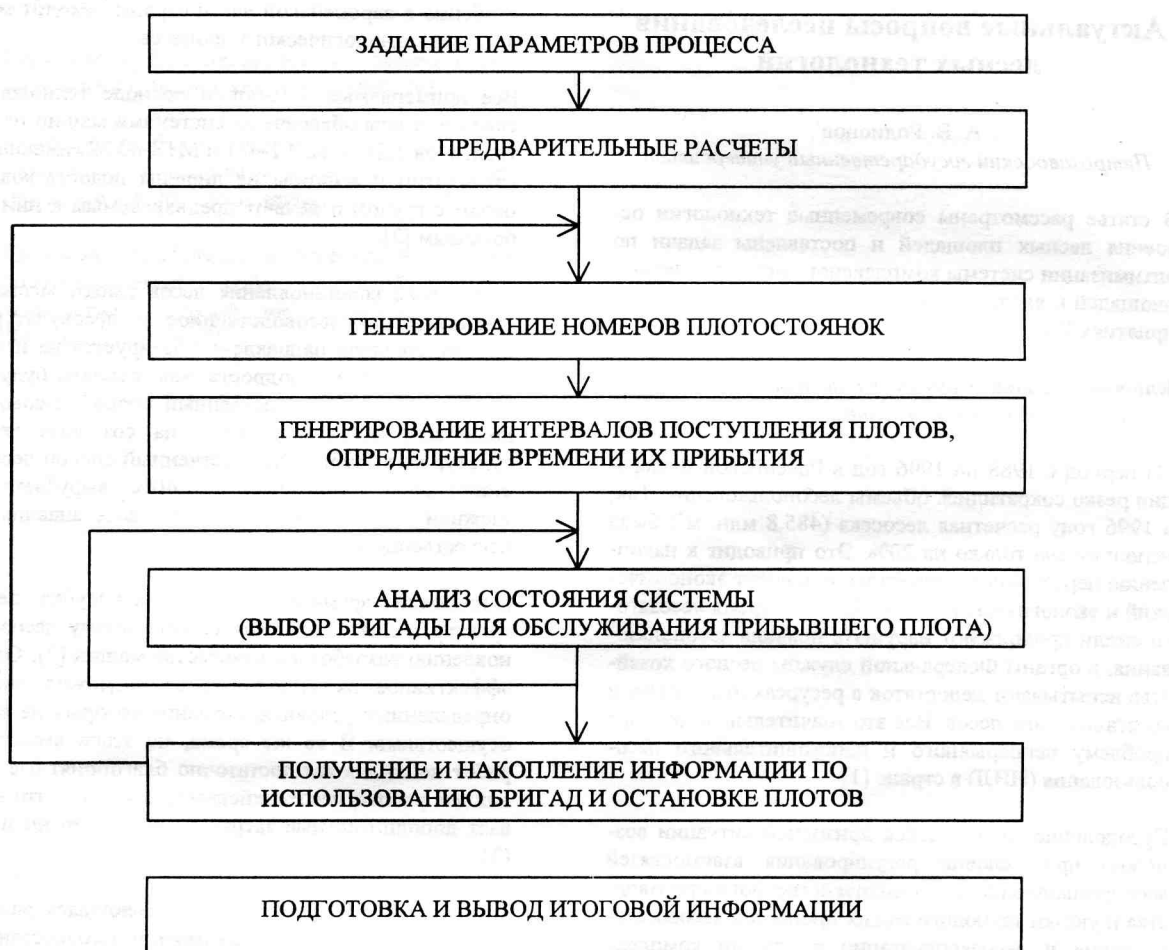


Рис. 1. Блок-схема имитационной модели